

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF

# TEPELNÉ ČERPADLO V TRIVALENTNÍM SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ

HEAT PUMP IN MULTIVALENT HEATING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. MARTIN ŠEDÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. JAN FIEDLER DR.

BRNO 2008

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá využitím energie z obnovitelných zdrojů. V teoretické části jsou popsány možnosti využití tepelných čerpadel, slunečního záření a biomasy. Skutečný stav provedení je uveden ve druhé části diplomové práce. Poslední část obsahuje energetické a ekonomické hodnocení skutečného provedení.

## Annotation

Thesis deals with the usage of energy from recoverable resources. Theoretical part of thesis includes the description of the utilisation of heating pumps, solar radiation and biomass. The real status of the implementation is described in the second part of the thesis. Last part of the thesis contains the energy and economy valuation of real implementation

## Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, solární kolektory, kotel na pelety, vzduch – voda, energetická bilance, ekonomická bilance, potřeba tepla, spotřeba tepla, akumulční nádrž

## Key words

Heat pump, solar collectors, pellet boiler, air-water, energy budget, economy budget, heat requirement, heat consumption, storage tank



Bibliografická citace mé práce:

ŠEDÝ, M. *Tepelné čerpadlo v trivalentním systému vytápění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.



### Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací a literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.5.2008

.....  
podpis



## Poděkování

Za odborné rady, připomínky a věnovaný čas chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. a Ing. Pavlu Burianovi.

## OBSAH

Úvod	8
1. Obecně o tepelných čerpadlech	9
1.1 Co je to tepelné čerpadlo?	9
1.2 Cykly tepelných čerpadel	9
1.3 Princip tepelných čerpadel	10
1.4 Topný faktor	11
1.5 Zdroje nízkopotenciálního tepla	12
1.5.1 Okolní vzduch	12
1.5.2 Okolní půda	13
1.5.3 Podzemní voda	14
1.5.4 Povrchová voda	15
2. Obecně o sluneční energii a jejím využívání	16
2.1 Sluneční energie	16
2.2 Možnosti využití sluneční energie	17
2.2.1 Pasivní systémy	17
2.2.2 Aktivní systémy	17
2.3 Rozdělení a princip	17
2.3.1 Kapalinové solární kolektory	17
2.3.2 Vakuové solární kolektory	18
2.4 Provoz solárních zařízení	19
2.5 Zásady instalace kolektorů	19
3. Obecně o biomase	20
3.1 Využití biomasy	20
3.2 Obecně o peletách	20
4. Popis skutečného provedení	22
4.1 Popis budovy	22
4.2 Tepelné čerpadlo	24
4.2.1 Vnější jednotka	24
4.2.2 Vnitřní jednotka	24
4.2.3 Popis jednotlivých komponent vnitřní jednotky	25
4.2.4 Skutečné děje v primárním okruhu	27
4.3 Kotel na dřevní pelety	29
4.4 Solární kolektory	31
4.4.1 Popis solárního panelu	31
4.4.2 Solární instalační jednotka Regusol – dvouvětvová	32
4.5 Akumulační nádrž	33
4.6 Regulace	34
5. Měření	35
6. Energetická bilance	36
6.1 Potřeby tepla	37
7. Ekonomická bilance	49
7.1 Náklady na výrobu tepla z jednotlivých zdrojů	50
7.1.1 Kotel na pelety	50
7.1.2 Tepelné čerpadlo a solární kolektory	50
7.2 Náklady na výrobu tepla ze všech tří zdrojů	51
7.3 Porovnání s jinými zdroji	51
7.3.1 Zemní plyn	51



---

7.3.2 Elektřina	52
7.4 Přepočet nákladů na teplo z tepelného čerpadla	54
8. Závěr	56
9. Seznam použitých zdrojů	57
10. Seznam použitých zkratk a symbolů	58
11. Seznam příloh	59

## Úvod

Neustále se zvyšující ceny primárních energetických zdrojů a zvyšující se znečištění ovzduší a přírody samotné vyžaduje snižování těžby a spotřeby těchto energetických zdrojů. To způsobuje nutnou změnu pohledu k využití obnovitelných zdrojů energií, využití nízkopotenciálních a odpadních tepel. Významným krokem je také snížení spotřeby energie samé.

Jednou z variant využití obnovitelných zdrojů energií je použití tepelného čerpadla. To je schopno „přečerpat“ nízkopotenciální energii z nízké úrovně na úroveň vyšší, již použitelnou. Dalšími možnými zdroji obnovitelné energie je sluneční záření a spalování dřevních pelet.

O těchto třech typech obnovitelné energie se zmiňuji z toho důvodu, protože cílem mé diplomové práce je seznámit se blíže s těmito druhy obnovitelné energie a posoudit ekonomicko – energetickou bilanci kotelny, ve které jsou tyto zdroje nainstalovány. Praktická část diplomové práce je založena na konkrétních hodnotách naměřených na těchto nainstalovaných zdrojích kotelny administrativní budovy v Popůvkách nedaleko Brna. Mnou zpracované hodnoty a z nich vycházející výsledky budou sloužit pro optimalizaci instalovaných zdrojů v daném objektu.

Kotelna je pojata jako ukázka možného využití obnovitelné energie pro potenciální zájemce o jednotlivé druhy těchto zdrojů. Z tohoto důvodu se nehledělo na pořizovací náklady celé instalace. Proto se nelze na návratnost takto provedené kotelny dívat čistě z hlediska ekonomiky provozu.



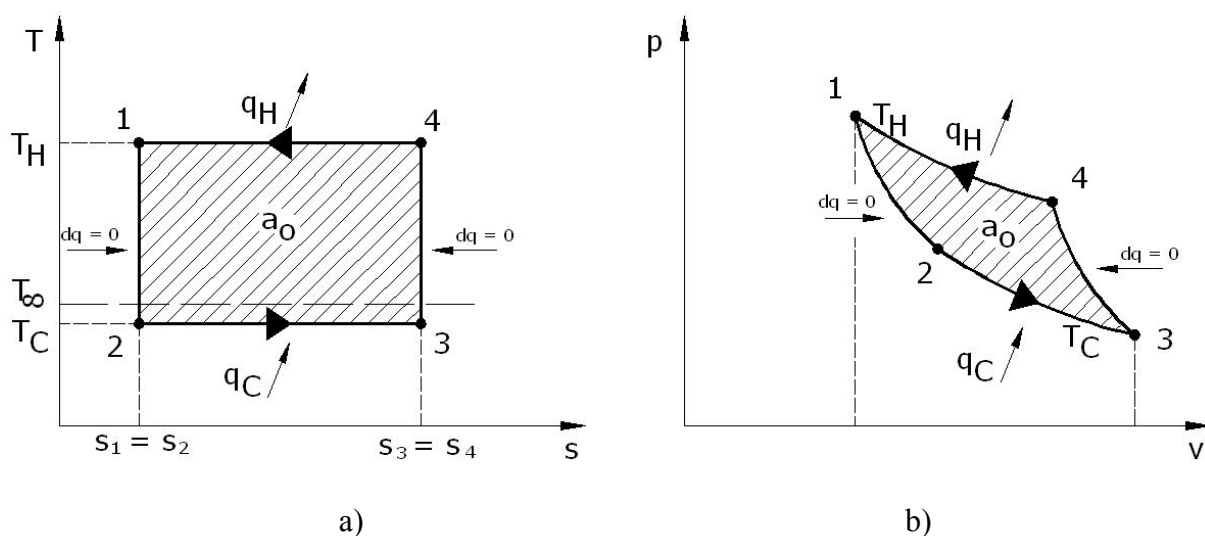
## 1. Obecně o tepelných čerpadlech

### 1.1 Co je to tepelné čerpadlo?

Tepelné čerpadlo je soubor zařízení, které slouží k přečerpávání tepla z nižší teplotní hladiny na teplotní hladinu vyšší. Aby bylo toto obrácené přečerpávání tepla možné, je potřeba tepelnému čerpadlu určitou energii dodávat. Bez dodávání této energie, není takové přečerpávání tepla možné. Energie se nejčastěji dodává kompresoru s elektrickým nebo motorovým pohonem. Samovolné přečerpávání z nižší teplotní hladiny na vyšší teplotní hladinu totiž odporuje II. zákonu termomechaniky. Ten mimo jiné říká, že teplo nemůže samovolně přecházet z tělesa o teplotě nižší na těleso o teplotě vyšší.

### 1.2 Cykly tepelných čerpadel

Oběh tepelného čerpadla lze nejlépe znázornit v T-s diagramu pomocí obráceného Carnotova oběhu. Často se Carnotův obrácený oběh znázorňuje i v p-v diagramu.



Obr. 1.1 Obrácený Carnotův cyklus znázorněný a) v T-s diagramu, b) v p-v diagramu

děj 1-2 je adiabatická expanze  
děj 2-3 je izotermická expanze  
děj 3-4 je adiabatická komprese  
děj 4-1 je izotermická komprese

odvedené teplo

$$q_H = q_{12} = T_H \cdot (s_2 - s_1) \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1.1)$$

přivedené teplo

$$q_C = q_{34} = T_C \cdot (s_4 - s_3) \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1.2)$$

práce cyklu

$$a_o = q_H - |q_C| = T_H \cdot (s_2 - s_1) - T_C \cdot (s_3 - s_4) = (T_H - T_C) \cdot (s_2 - s_1) \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1.3)$$

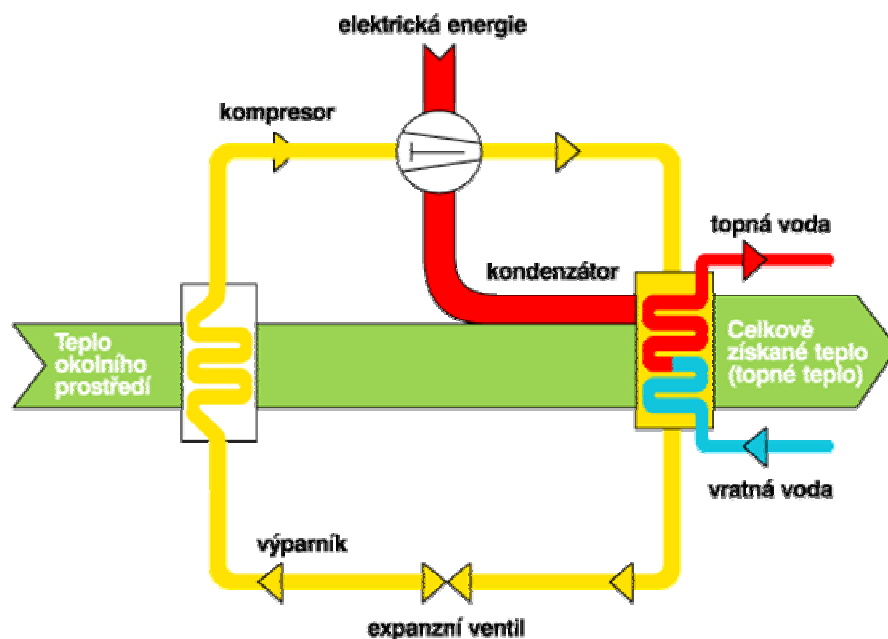
termická účinnost

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_C|}{q_H} = 1 - \frac{T_C(s_3 - s_4)}{T_H(s_2 - s_1)} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad [-] \quad (1.4)$$

Z obr. 1.1 a) je přímo zřejmé, že termickou účinnost můžeme zvyšovat zvyšováním maximální teploty a snižováním minimální teploty. Zároveň nelze snižovat minimální teplotu u přímého cyklu pod teplotu okolí  $T_\infty$ . Dále je nutné si uvědomit, že výše zmíněné děje jsou pouze teoretické, tudíž v praxi nedosažitelné.

### 1.3 Princip

Tepelné čerpadlo obsahuje čtyři základní části chladicího neboli primárního okruhu. Jsou to výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil.



zdroj: www.gloria.cz

Obr. 1.2 Princip tepelného čerpadla

Teplo odebrané venkovnímu prostředí se ve výparníku předává pracovní látce, kterou je kapalné chladivo při relativně nízké teplotě. Předáním tepla chladivu dojde k jeho odpaření a páry jsou následně stlačeny na vysoký tlak v kompresoru. Zde dochází k již zmíněnému dodávání energie do cyklu. Stlačené chladivo je přiváděno do kondenzátoru, kde při kondenzaci předává teplo do topné vody za vyšší teploty než bylo teplo ve výparníku odebráno. V expanzním ventilu se cyklus uzavírá a dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu ve výparníku. Takto popsany princip platí pro kompresorová tepelná čerpadla.

V praxi se ještě využívají, i když v podstatně menší míře, absorpční tepelná čerpadla. Zahříváním vodného roztoku amoniaku plynovým hořákem v generátoru dojde k oddělování amoniaku a roztoku. Plyný amoniak odpařením přechází do prvního tepelného výměníku, předává své kondenzační teplo do topného systému, ochladí se a zkondenzuje. Kapalný amoniak přechází do druhého výměníku, kde odnímá teplo z vnějšího prostředí, a tímto teplem se vypařuje. Plyný amoniak přechází do absorbéru, kde se opět rozpouští ve slabém roztoku amoniaku, který zbyl po zahřívání v první fázi. Nasycený roztok amoniaku přechází do generátoru plyného amoniaku. Tím je celý topný cyklus uzavřen.

#### 1.4 Topný faktor

Topný faktor udává energetickou efektivitu tepelného čerpadla a slouží k posuzování hospodárnosti jeho provozu. Značí se  $\varepsilon_T$  nebo též COP (Coefficient of Performance). Udává poměr tepelného výkonu tepelného čerpadla k elektrickému příkonu, který je potřebný k jeho provozu. Hodnota topného faktoru se pro běžné účely pohybuje kolem hodnot 2–5. To znamená, že z 1 kWh elektrické energie, kterou potřebuje tepelné čerpadlo pro provoz, se vyrobí 2–5 kWh tepla.

Velikost topného faktoru závisí na vstupní teplotě z nízkoteplotního zdroje, na výstupní teplotě, na chemických a fyzikálních vlastnostech chladiva a na technických parametrech tepelného čerpadla.

Zjednodušeně lze spočítat topný faktor podle vztahu (1.5).

$$\varepsilon_T = \frac{Q}{E} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \cdot \eta_t \quad (1.5)$$

kde:

$Q$  – tepelný výkon [W],  $Q = E + Q_0$

$E$  – příkon [W]

$Q_0$  – teplo odebrané při nižší teplotní hladině [W]

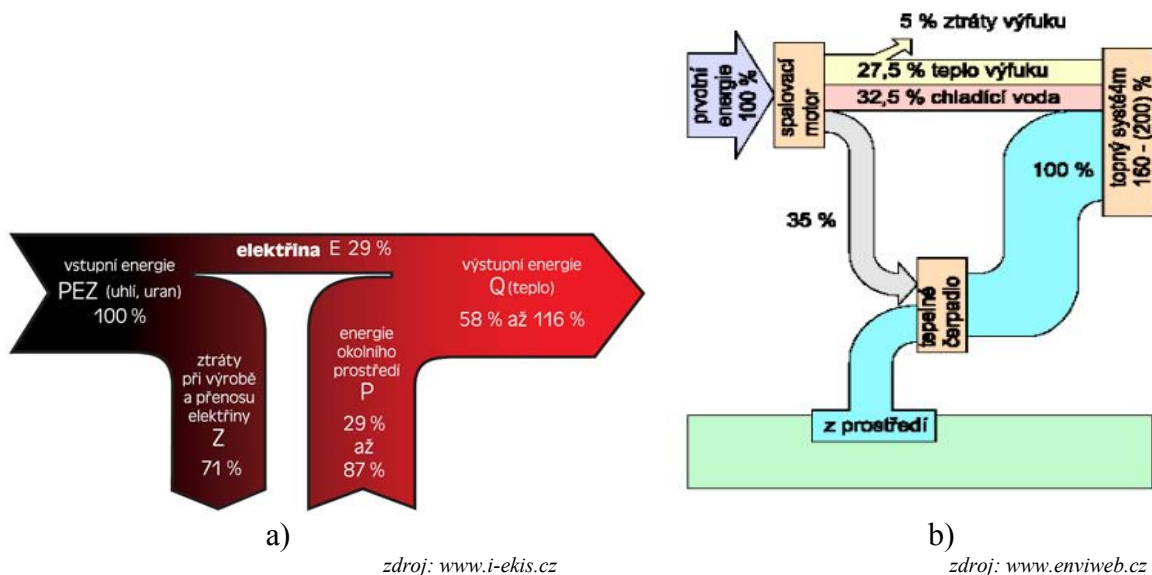
$T_H$  – teplota, při které dochází ke kondenzaci teplotonosné látky v cyklu [K]

$T_C$  – teplota, při které dochází k vypařování teplotonosné látky v cyklu [K]

$\eta_t$  – účinnost termodynamického cyklu (0,4 – 0,6) [-]

Při výpočtu topného faktoru se někdy zapomíná na spotřebu elektřiny oběhových čerpadel nebo ventilátorů, která jsou nezbytná pro provoz tepelného čerpadla. Skutečný topný faktor pak může být výrazně nižší.

Vyšších hodnot topného faktoru dosahují tepelná čerpadla poháněná spalovacím motorem, u kterých se k vytápění může využít i odpadní teplo z chlazení motoru a části tepla z výfukových plynů. Topný faktor, jako měřítko „energetické dokonalosti“ není proto jen věcí tepelného čerpadla, ale celého vytápěcího systému, a zejména otopné soustavy.



Obr. 1.3 Toky energií u tepelného čerpadla poháněného a) elektromotorem, b) spalovacím motorem

## 1.5 Zdroje nízkopotenciálního tepla

### 1.5.1 Okolní vzduch

#### Venkovní vzduch

Je k dispozici všude, vzduchová tepelná čerpadla jsou investičně méně náročná. Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy. Protože ve vzduchu je tepla poměrně málo, musí výměníkem procházet velké objemy vzduchu. Je tedy nutný výkonný ventilátor. Ten je zdrojem určitého hluku, proto je potřeba volit umístění výměníku pečlivě, aby hluk neobtěžoval obyvatele domu ani sousedy. Venkovní část by neměla být ani v místech, kde se mohou tvořit „kapsy“ studeného vzduchu. Výhodami tohoto provedení jsou příznivý poměr cena/výkon, univerzálnost a jednoduchá instalace. Vzduchová tepelná čerpadla jsou schopná pracovat, i když je venku méně než  $-20^{\circ}\text{C}$ . Při nízkých teplotách se na venkovním výměníku tvoří námraza. Energie spotřebovaná na její odtávání může výrazně zhoršit celkový topný faktor a tím zvýšit provozní náklady. Další nevýhodou je hlučnost ventilátoru venkovní jednotky.



*zdroj: www.klimad.sk*

Obr. 1.4 Tepelné čerpadlo systému vzduch – voda

#### Odpadní vzduch

Ochladuje se vzduch odváděný větracím systémem objektu, který má vždy relativně vysokou teplotu (18 až 24 °C). Tepelné čerpadlo může pracovat efektivně i za podmínek, kdy běžně užívané systémy zpětného získávání tepla (rekuperace) nelze použít. Teplo může být použito pro topnou vodu ústředního topení nebo výhodněji pro ohřev vzduchu, je-li vytápění objektu teplovzdušné. Nevýhodou je, že větracího vzduchu je k dispozici jen omezené množství.

#### 1.5.2 Okolní půda

##### Půdní kolektor

Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu. Půdní kolektor se umísťuje poblíž objektu v nezamrzlé hloubce. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně 0,6 m od sebe. Velikost takovéto plochy je asi trojnásobkem plochy vytápěné. Je také možné ukládat potrubí ve tvaru uzavřených smyček do výkopů kolektoru, rýhy o hloubce cca 2 m a šířce asi 1 m. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba 5 až 8 m délky výkopu. Je třeba počítat s tím, že půdní kolektor okolní zeminu ochladí, takže se zde např. v zimě bude déle držet sníh. Pokud má být teplo odebíráno celoročně, je potřeba půdní kolektor o větší ploše. Je-li tepelné čerpadlo využíváno pro letní chlazení, lze půdní kolektor dobíjet odpadním teplem.

Výhodou je stabilní topný výkon. Nevýhody spočívají ve vyšších pořizovacích nákladech a vyšších nárocích na prostor.



*zdroj: www.klimad.sk*

Obr. 1.5 Tepelné čerpadlo systému země – voda

#### Hlubinné vrty

Využívá se teplo hornin v podloží. Vrty hluboké až 150 m se umísťují v blízkosti stavby, nejméně 10 m od sebe. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 až 18 m hloubky vrtu, podle geologických podmínek. Vrty nelze provádět kdekoli, je vhodné zajistit si hydrologický průzkum, aby nedošlo k narušení hydrologických poměrů.

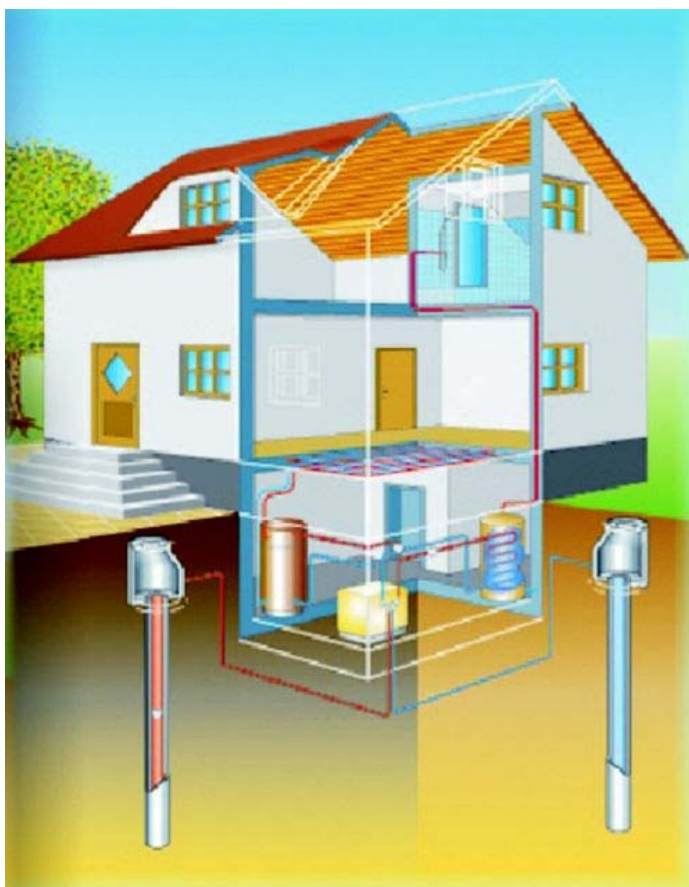
Výhodou je celoročně stálá teplota zdroje (cca 8 °C), takže TČ pracuje efektivně. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena. Na tento druh tepelného čerpadla musí být vydáno stavební povolení.

#### 1.5.3 Podzemní voda

Voda se odebírá ze sací studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj podzemní vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně 15 až 25 l/min pro tepelné čerpadlo s výkonem 10 kW).

Výhodami jsou vysoký topný faktor, krátká doba návratnosti a nižší pořizovací náklady oproti čerpání tepla ze země. Nevýhodou je, že vhodných lokalit je velmi málo, a také složité povolovací řízení, takže toto řešení se v praxi příliš nepoužívá.





*zdroj: [www.klimad.sk](http://www.klimad.sk)*

Obr. 1.5 Tepelné čerpadlo systému voda – voda

#### 1.5.4 Povrchová voda

Voda v toku nebo rybníku se může ochlazovat tepelným výměníkem umístěným buď přímo ve vodě, nebo zapuštěným do břehu vždy tak, aby nehrozilo zamrznutí. Podmínkou je vhodné umístění objektu, nejlépe přímo na břehu. Teoreticky je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět. Toto řešení má ale mnoho technických i administrativních překážek a tím je jeho použití v praxi omezeno téměř na nulu.

## 2. Obecně o sluneční energii a jejím využívání

### 2.1 Sluneční energie

Sluneční energie se řadí mezi nevyčerpatelné zdroje energie. Její využívání nemá žádné nepříznivé dopady na životní prostředí. Množství využitelné energie je závislé především na klimatických podmínkách jednotlivých částí zemského povrchu. Lze ji dobře využívat nejen v oblastech s dlouhým slunečním svitem, ale i s vyšší nadmořskou výškou.

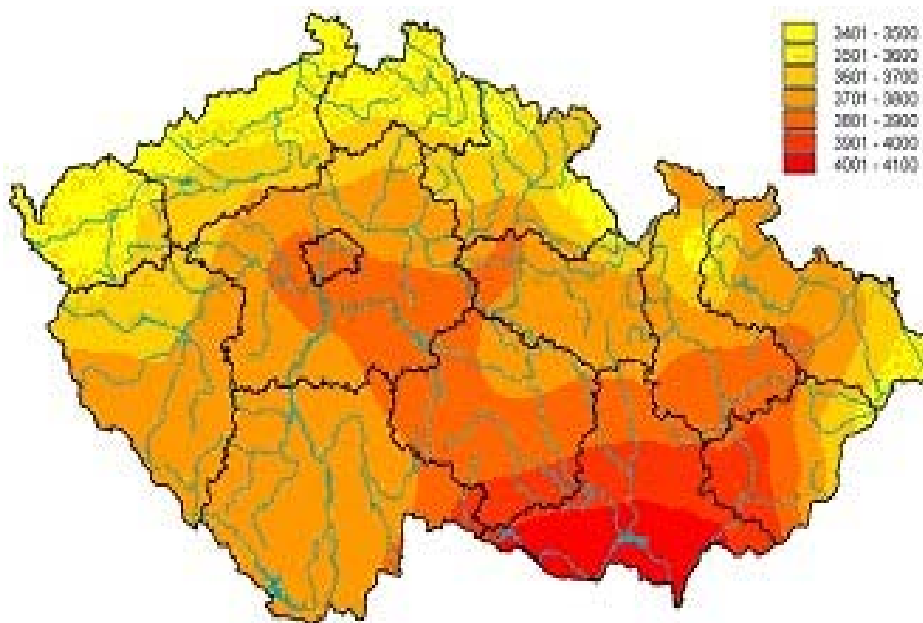
Z celkového výkonu, který Slunce vyzařuje, dopadne na naši planetu jen nepatrná část, přibližně jedna dvoumiliardtina, tj. asi  $1,8 \cdot 10^{14}$  kW. Pro život na Zemi má však podstatný význam i tato nepatrná část, kterou naše planeta zachytí.

V České republice jsou poměrně dobré podmínky pro využívání energie slunečního záření, přestože množství sluneční energie v průběhu roku kolísá a největší množství sluneční energie dopadá v období, kdy spotřeba tepla je nejnižší.

Ročně dopadá kolmo na  $1 \text{ m}^2$  plochy 800 – 1250 kWh solární energie. Od dubna do října to představuje přibližně 75 % energie a zbylých 25 % energie připadá na období od října do dubna.

Sluneční záření, které dopadá na povrch Země, se skládá z přímého a z rozptýleného záření. Přímé záření je záření od slunečního disku, které tvoří svazek prakticky rovnoběžných paprsků. Rozptýlené neboli difúzní záření vzniká rozptylem přímých slunečních paprsků na molekulách vzduchu, vodních kapkách, ledových krystalcích a aerosolových částicích. Rozptýlené záření se nám jeví jako světlo oblohy. Kdyby toto záření nebylo, jevila by se nám obloha i během dne jako černá s ostře zářícím slunečním kotoučem.

Průměrný počet hodin slunečního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje kolem 1 460 h/rok. Mapka ukazuje globální sluneční záření dopadající na vodorovnou plochu o velikosti  $1 \text{ m}^2$  za rok a dává tak představu o množství využitelné sluneční energie.



zdroj: [www.chmu.cz](http://www.chmu.cz)

Obr. 2.1 Průměrné roční sumy globálního záření v  $\text{MJ/m}^2$



## 2.2 Možnosti využití sluneční energie

V našich podmínkách je možné využívat sluneční energii zejména k výrobě tepla, tedy k přípravě teplé užitkové vody, k ohřevu vody v bazénech, k dotápění či vytápění objektů. Méně výhodné je využití přeměny energie Slunce na elektrickou energii fotovoltaickými články.

Teplo ze slunce lze získat dvěma různými způsoby, pomocí pasivních nebo aktivních systémů.

### 2.2.1 Pasivní systémy

Sluneční záření se mění na teplo pomocí stavebního řešení budovy, které vychází z obdobných principů jako skleník. Množství získané energie závisí na poloze, druhu, architektonickém řešení budovy a použitých materiálech. Doporučuje se používat skla s reflexní folií, která zabraňují zpětnému vyzařování tepla ven z místnosti, a v létě zabraňují přehřívání. Pasivní systémy lze výborně využít u nově budovaných objektů (dekorativní a současně energeticky úsporné prvky). U starších objektů je možné dostavět prosklenou verandu, skleník.

### 2.2.2 Aktivní systémy

Sluneční záření se přeměňuje na teplo pomocí tzv. solárních kolektorů. Velkou výhodou tohoto systému je skutečnost, že je téměř vždy možné dodatečně instalovat aktivní systémy na stávající budovu. Teplo získané v kolektorech se využívá přímo k přitápění, k ohřevu vody nebo se může ukládat v akumulacích nádržích a využívat později (v noci, ve dnech se slabým slunečním svitem).

Akumulace v zásobnících může být dlouhodobá nebo krátkodobá tj. několikadenní. Čím je delší doba akumulace, tím je systém dražší a méně ekonomický. Proto se nejčastěji používá krátkodobá akumulace spolu s pružnými nízkoteplotními topnými systémy, které sníží výkon okamžitě, jsou-li v místnosti solární zisky prosklením.

## 2.3 Rozdělení a princip

Největší význam pro úspory energie mají aktivní systémy, které získávají tepelnou energii pomocí kapalinových nebo vakuových kolektorů ať už plochých nebo trubcových.

### 2.3.1 Kapalinové solární kolektory

Solární kolektory zachycují skleněnou plochou či trubicí sluneční záření a přeměňují je na tepelnou energii. Tato energie je pohlcována absorberem a odváděna teplotně kapalinou, kterou nejčastěji bývá voda nebo ekologicky nezávadná nemrznoucí kapalina. Ta odvádí teplo do výměníku, kde je předáváno k ohřevu užitkové nebo topné vody.

Kolektory, které jsou vybavené selektivní absorpční vrstvou, mají vyšší účinnost, protože dokážou zachytit i difúzní záření.

Výkonnost plochého nebo trubkového kolektoru je v létě téměř stejná, v zimě trubkový kolektor ztrácí méně tepla vyzařováním.

### 2.3.2 Vakuové solární kolektory

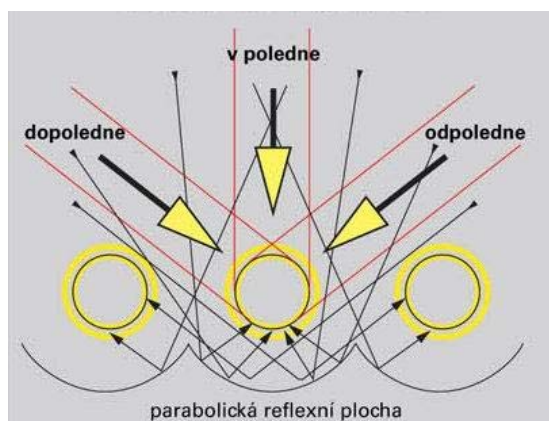
Solární kolektory zachycují vakuovanou skleněnou plochou či trubicí sluneční záření a přeměňují je na tepelnou energii, která odpařuje teplotonosnou kapalinu. Nejčastěji jí bývá ethylalkohol nebo glykol. Teplotonosná kapalina přechází jako pára do kondenzátoru, kde ve výměníku předá teplo topné nebo užitkové vodě, ochladí se, zkondenzuje a vrací se zpět do kolektoru. Vakuum dobře snižuje ztráty a tím zvyšuje účinnost zařízení zejména v zimních měsících.



zdroj: [www.ekosolaris.cz](http://www.ekosolaris.cz)

Obr. 2.2 Řez vakuovou trubicí

Na obr. 2.3 je názorně ukázána korekce sklonu slunečních paprsků v závislosti na denní době pomocí parabolických reflexních ploch. Tyto parabolické plochy podstatně zlepšují účinnost kolektoru a tím i ekonomiku provozu a návratnost investovaných prostředků.



zdroj: [www.solarnisystemy.com](http://www.solarnisystemy.com)

Obr. 2.3 Korekce sklonu slunečních paprsků

## 2.4 Provoz solárních zařízení

Jak jsem se již zmínil výše, má Česká republika poměrně dobré podmínky pro využití solární energie. Avšak vzhledem k místním klimatickým podmínkám a tím nerovnoměrné spotřebě tepla v průběhu roku je nutné solární kolektory kombinovat s dalším stabilním zdrojem tepla jako je třeba elektrokotel.

## 2.5 Zásady instalace kolektorů

První, co by měl zájemce o solární kolektory udělat, je pečlivá analýza výchozích podmínek a to nejen technických a ekonomických, ale i zvážení provozních podmínek.

### Umístění solárních kolektorů

Nejvhodnější orientace solárních kolektorů je na jihozápad pod úhlem  $8^\circ$  až  $15^\circ$ . Tato orientace umožňuje lepší využití energie zapadajícího slunce. Maximum výkonu celodenního osvětlení nastává kolem 14 hodiny. Nejvhodnější sklon kolektorů je  $25^\circ$  až  $50^\circ$  k vodorovné rovině.

Další velice důležitou zásadou je snížení ztrát na minimum, a to jak ztrát rozvodů kolektoru a kolektorů samotných, tak i tepelných ztrát celé budovy.

Rozvody kolektorů by se měly navrhovat co nejkratší a s kvalitní izolací. Kolektory je dobré chránit před větrem, protože ochlazování kolektorů snižuje jejich účinnost.

Zateplením budovy izolací lze snížit tepelné ztráty až o 30% a tím výrazně snížit potřebu tepla.

Na nižší potřebu tepla má vliv i použití nízkoteplotní otopné soustavy s teplotním spádem pro velkoplošné radiátory  $50/45^\circ\text{C}$  a pro podlahové vytápění  $45/35^\circ\text{C}$ .

### 3. Obecně o biomase

Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. Je získávána jako odpad ze zemědělské či průmyslové činnosti nebo jako komunální odpad. Biomasa může být i výsledkem záměrné výrobní činnosti v zemědělství či lesnictví. Je nejstarším lidmi využívaným zdrojem energie a má obnovitelný charakter. Efektivní a ekologické využití biomasy má minimální negativní vliv na životní prostředí.

Biomasu je možné využívat přímým spalováním i k výrobě ušlechtilých paliv, které podstatně méně zatěžují životní prostředí než klasická paliva. Její výroba je pro životní prostředí větším přínosem, než spalování fosilních paliv. Přínosem mám na mysli například likvidaci odpadů, zalesňování nevyužívané nebo nevyužitelné půdy.

V České republice jsou vzhledem k velké rozloze půdy, která je využívána k zemědělským a lesnickým účelům (asi 87% z celkové rozlohy), dobré podmínky pro energetické využití biomasy. K energetickým účelům je možné využít asi 8 mil. tun pevné biomasy ročně.

#### 3.1 Využití biomasy

- výroba tepla přímým spalováním v topeništích (dřevo, dřevní odpad, sláma, atd.)
- zpracování na kvalitnější paliva tzv. fytopaliva (pelety, brikety, bioplyn, etanol, bionafta)
- výroba elektřiny (kombinovaná výroba elektrické energie a tepla)

#### 3.2 Obecně o peletách

Pelety jsou ekologickým ušlechtilým palivem vyráběným z biomasy vhodným pro automatické spalování ve speciálních kotlích. Spalování ve spotřebičích, které k tomu nejsou určeny, není doporučeno, protože se jedná o neefektivní plýtvání cennými zdroji. Jedná se o průmyslově lisované granule o průměru 6 až 14 mm.



*zdroj: [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz)*

Obr 3.1 Ukázka dřevních pelet

Pelety dělíme na:

dřevní – které se vyrábí lisováním suché dřevní hmoty jako jsou piliny, kůra a dřevní štěpky, dřevní pelety můžeme dále dělit na: bílé – z čisté dřevní hmoty, především pilin  
tmavé – piliny smíchané s kůrou

alternativní – agropelety – které se vyrábí lisováním částí rostlin  
– ostatní – z špatně využitelných materiálů, jako je drcený starý papír, uhelný prach apod.

Alternativní pelety lze spalovat jen ve speciálních kotlích, které jsou k tomu určeny. Není možné je spalovat v kotlích určených pouze pro dřevní pelety. Při spalování alternativních pelet v kotlích na dřevní pelety dochází k zapékání hořáku po pár hodinách provozu.



zdroj: [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz)

Obr. 3.2 Hořák na dřevní pelety

Parametry dřevních pelet:

Výhřevnost – 17,5 až 19,5 MJ/kg  
Měrná hmotnost – 1,0 až 1,4 t/m<sup>3</sup>  
Sypná hmotnost – 0,6 až 0,8 t/m<sup>3</sup>

Popelnatost – 0,5 až 2,5 %

Parametry alternativních pelet:

Výhřevnost – 15,0 až 18,0 MJ/kg  
Měrná hmotnost – 0,9 až 1,2 t/m<sup>3</sup>  
Sypná hmotnost – 0,55 až 0,75 t/m<sup>3</sup>

Popelnatost – 1,0 až 9,0 %

## 4. Popis skutečného provedení

### 4.1 Popis budovy

Jedná se o administrativní budovu firmy Enbra spol. s r.o. Budova se nachází v obci Popůvky v okrese Brno – venkov a je řešena jako nízkoenergetická. Objekt má čtyři nadzemní podlaží ukončené plochou střechou. V současné době není objekt využíván.



Obr. 4.1 Administrativní budova firmy Enbra spol. s r.o.

### Potřeba tepla

Hodnoty tepelných ztrát a potřeb tepla jsem převzal z projektové dokumentace pro realizaci vytápění. Výpočet tepelných ztrát objektu byl zpracován na základě stavebních výkresů, požadavků investora a dle platných norem a byl proveden pomocí počítačového programu Protech.

Tepelné ztráty budovy	33,8 kW
Potřeba tepla	38,6 kW

Rozdíl mezi tepelnou ztrátou budovy a potřebou tepla (4,8 kW) se může zdát jako nedostatečný pro přípravu teplé užitkové vody. V případě, že by se jednalo o oddělenou přípravu tepla pro topení a teplé užitkové vody, tak by tento výkon dostatečný nebyl. Zde je ale použit společný akumulární ohřev vody, takže výkon 4,8 kW je dostatečný.

Teplotní spád soustavy	– topný okruh	55/45	°C
	– kotlový okruh	80/60	°C



Jako zdroj tepla pro výše uvedený objekt je navržena kombinace automatického kotle na dřevní pelety KP 50 výrobce Ponast, tepelného čerpadla Easy Master 45Z systém vzduch – voda a solárních kolektorů Enbra 300 N2P+. Všechny tyto zdroje jsou napojeny do předávací akumulární nádrže TS – K 1500/300. Systém zapojení je vidět na výkrese v příloze č.1.

Tepelné čerpadlo	Easy Master 45Z Vestavěný elektrokotel	topný výkon	$Q_{TČ} = 18,7 \text{ kW}$
		topný výkon	$Q_E = 2 \times 7,5 \text{ kW}$
Kotel	Ponast KP50	jmenovitý výkon	$Q_{KP} = 48 \text{ kW}$
Solární kolektory	Enbra 300 N2P+	maximální výkon	$Q_S = 22,4 \text{ kW}$

Postup zjištění maximálního výkonu solárních kolektorů:

Počet nainstalovaných kolektorů	$n = 15 \text{ ks}$
Hodnoty od výrobce:	
Absorpční plocha jednoho kolektoru	$S = 1,78 \text{ m}^2$
Optická účinnost	$\eta = 80 \% = 0,8$
Hodnoty z encyklopedie Wikipedia:	
Maximální příkon záření v letním poledni pro ČR (50° sš)	$R = 1050 \text{ W/m}^2$

Maximální výkon kolektorů

$$Q_S = S \cdot n \cdot R \cdot \eta = 1,78 \cdot 15 \cdot 1050 \cdot 0,8 = 22\,428 \text{ W} = 22,4 \text{ kW}$$

Takto získaná hodnota udává, jaký teoretický maximální výkon je schopno za příznivých letních podmínek krátkodobě dodávat 15 solárních kolektorů. Záleží na správném způsobu instalace kolektorů a jejich rozvodů a také na jejich správném provozování.

Celkový instalovaný výkon  $Q_C$  v kotelně tedy je:

$$Q_C = Q_{TČ} + Q_{KP} + Q_S = 18,7 + 48 + 22,4 = 89,1 \text{ kW}$$

Takový instalovaný výkon je téměř 2,5krát větší než jsou potřeby tepla. O důvodech netypičnosti instalace tohoto zdroje jsem se zmínil již v úvodu. Jedná se o ukázkou možného využívání obnovitelné energie pro potenciální zájemce o tyto druhy zdrojů, a to jak v monovalentním tak i multivalentním zapojení. Také si musíme uvědomit, že prakticky nemohou nastat takové podmínky, aby všechny tyto tři zdroje musely pracovat na svůj 100 % výkon.

## 4.2 Tepelné čerpadlo

Pro výše uvedený objekt bylo jako zdroj tepla instalováno v kotelně tepelné čerpadlo Easy Master 45Z systém vzduch – voda s topným výkonem 18,7 kW a příkonem 4,5 kW.

Tepelné čerpadlo je provedeno v tzv. split konstrukci. To znamená, že tepelné čerpadlo je rozděleno na venkovní jednotku (ventilátor, výparník) a vnitřní jednotku (kompresor, expanzní ventil).

### 4.2.1 Vnější jednotka

Vnější jednotka obsahuje:

- vertikální výparník s měděným potrubím a hliníkovými lamelami
- nízkootáčkový axiální ventilátor s příkonem 0,33 kW
- čidlo venkovní teploty vzduchu.

Jednotka je umístěna na speciálních konzolách připevněných na svislou stěnu. Ventilátor je umístěn z pohledu směru proudění vzduchu za výparníkem. Vzduch proudí přes výparník ve směru červené šipky na obr. Xx b). Kdyby vzduch proudil obráceně, docházelo by k ochlazování stěny za venkovní jednotkou vychlazeným vzduchem, což je nežádoucí.



a)



b)

Obr. 4.2 Vnější jednotka tepelného čerpadla vzduch – voda

Technické údaje o venkovní jednotce:

- teplosměnná plocha 56 m<sup>2</sup>
- čelní plocha 0,8 m<sup>2</sup>
- jmenovitý průtok vzduchu 6 000 m<sup>3</sup>/h

### 4.2.2 Vnitřní jednotka

Vnitřní jednotka je vybavena:

- spirálním kompresorem Scroll Sanyo s antivibračním uložením
- deskový nerezový kondenzátor
- elektronický expanzní ventil
- vestavěný dvoustupňový elektrokotel



- oběhové čerpadlo
- průtokové čidlo
- vestavěný elektrorozvaděč s jističem všech komponentů a ovládáním HDO (tepelná ochrana kompresoru, proudový chránič, jističe elektrokotle, oběhového čerpadla)
- systém MaR s ekvitermním řízením

Jako chladivo je použita látka s označením R407c, jedná se o bezfreonový, bezbarvý, stlačený, lehce éterický plyn.



Obr. 4.3 Vnitřní jednotka tepelného čerpadla vzduch – voda

Vnitřní jednotka je provedena v takzvaném kompaktním provedení. Toto provedení je vidět na obr. 4.3. Veškeré výše uvedené součásti vnitřní jednotky jsou umístěny uvnitř červeného boxu.

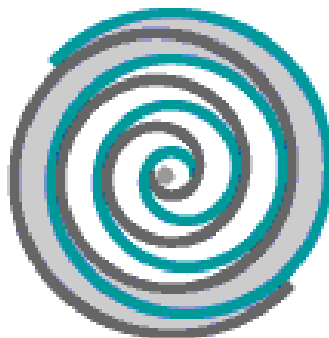
#### 4.2.3 Popis jednotlivých komponent vnitřní jednotky

##### 4.2.3.1 Kompresor scroll Sanyo

Díky těmto kompresorům se stává okolní vzduch v našich geografických a klimatických podmínkách rovnocenným zdrojem nízkopotenciálního tepla. Protože tyto kompresory pracují téměř se stoprocentní objemovou účinností, jsou jejich parametry při změnách pracovních podmínek závislé jen na termodynamických vlastnostech použitého chladiva a ne již na objemové účinnosti. Díky tomuto kompresoru je tepelné čerpadlo schopno pracovat i za nízkých teplot venkovního vzduchu. Výrobce uvádí  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kompresor má 2900 ot/min.

### Princip spirálového kompresoru

Princip je zřejmý z obr. 4.4. Jedna spirála (černá) je pevná, druhá (zelená), která je poháněná excentrem na hřídeli elektromotoru, v ní krouží, ale neotáčí se. Vytvořené plynové prostory se neustále zmenšují a tak je plyn nasáván z obvodu a tlačен do středu, kde je v ose umístěn výtlačný otvor. Kompresor nemá žádné ventily. Na obrázku je pro názornost označen plyn jen v jednom takovém prostoru, ve skutečnosti je jich několik za sebou.



zdroj: [www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz)

Obr. 4.4 Princip spirálového kompresoru

#### 4.2.3.2 Kondenzátor

Typ	deskový
Materiál	nerezová ocel
Teplosměnná plocha	2,9 m <sup>2</sup>
Průtok topné vody	0,55 kg/s
Teplotní rozdíl	8 K

#### 4.2.3.3 Expanzní ventil

Elektronický expanzní ventil reguluje množství chladiva vstřikovaného do výparníku a tím i správný chod tepelného čerpadla. Na základě teplot měřených elektronickými čidly se buď otevírá, nebo uzavírá. Expanzní ventil zvyšuje topný faktor tepelného čerpadla, zlepšuje ekonomiku provozu, provozní spolehlivost a prodlužuje dobu životnosti zařízení oproti expanzním ventilům bez vstřikování chladiva. Zjednodušuje výrobu, uvádění do provozu i servis. V oblasti tepelných čerpadel je po zavedení scroll kompresorů elektronický expanzní ventil největší technickou inovací poslední doby.



zdroj: [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)

Obr. 4.5 Expanzní ventil

#### 4.2.3.4 Ekvitermní regulace

Ekvitermní regulace teploty budovy spočívá v nastavení teploty topné vody (neboli v regulaci zdroje tepla) na základě venkovní teploty. Venkovní čidlo snímá venkovní teplotu, která je neustále ovlivňována vlivy větru, slunečních paprsků a na základě toho nastavuje potřebnou teplotu topné vody (to znamená že topná voda nemá nikdy větší teplotu než je potřeba, tím zbytečně nepřetápí a šetří). Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami budovy a teplota v budově tak zůstala konstantní.

Klasicky chápáná ekvitermní regulace zajišťovaná směšovacím ventilem je ve vytápěcím systému s tepelným čerpadlem energeticky zcela nevhodná a nežádoucí. Dochází totiž k degradaci tepla o vyšší teplotní úrovni vyrobeného s horším energetickým efektem na nižší teplotní úroveň, která se dá zajistit přímo a s lepším energetickým efektem. V systémech s tepelným čerpadlem má směšování své opodstatnění jen v případě, že jediné tepelné čerpadlo má zajistit dvě teplotní úrovně teplonosné látky, což v tomto případě není.

#### 4.2.3.5 Elektrokotel

Tepelné čerpadlo má v sobě umístěn dvoustupňový elektrokotel, který má následující funkce:

- V případě nízkých teplot sepne spolu s kompresorem pomocný první stupeň elektrokotle, aby na nezbytně nutnou dobu pomáhal zajišťovat stálou tepelnou pohodu domu.
- V případě, že klesne venkovní teplota pod mez provozu kompresoru nebo nastane porucha znemožňující jeho chod, sepnou automaticky oba dva stupně elektrokotle a plnohodnotně dodají potřebný výkon.

V současném provedení zapojení je elektrokotel vyřazen z provozu a jeho funkci nahrazuje kotel na dřevní pelety.

#### 4.2.4 Skutečné děje v primárním okruhu

V obecné části jsem se již zmínil o dějích, které probíhají v uzavřeném cyklu tepelného čerpadla a také o tom, že těchto dějů v praxi nelze dosáhnout. Chladivo v chladícím okruhu trvale obíhá a cyklicky mění své skupenství z plynného na kapalné a naopak. Z hlediska termodynamiky vykonává kruhový oběh, tedy uzavřený cyklus. Ten je znázorněn na obr. 4.6. Ve skutečnosti tyto děje probíhají následovně:

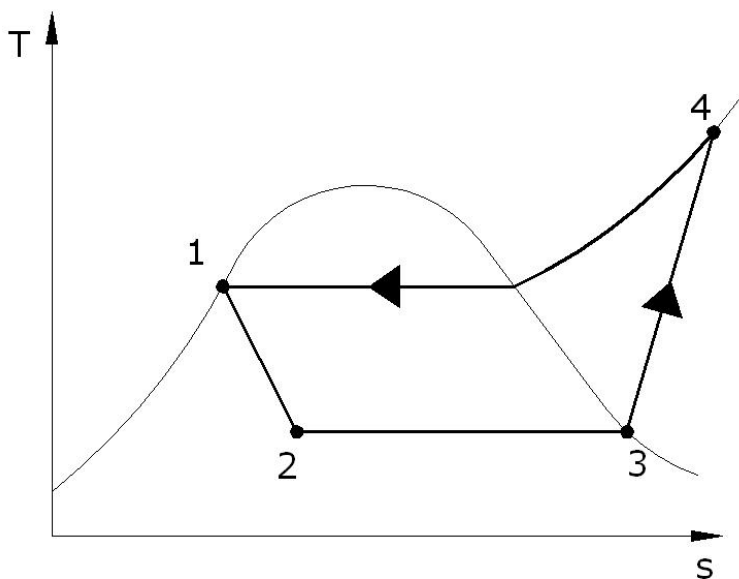
izotermická expanze – teplo odebrané nízkopotenciálnímu zdroji se ve výparníku předá pracovní látce, kterou je kapalné chladivo. Předání tepla se děje při relativně nízké teplotě. Tato teplota je vždy nižší než teplota zdroje, tedy i nižší než 0 °C. Vypařující se chladivo musí mít nižší teplotu než ochlazovaná látka. Zahřátím chladiva dochází k jeho odpaření, tedy ke změně ze skupenství kapalného na skupenství plynné. Odpaření chladiva je první funkční změnou skupenství v parním oběhu. Odevzdaným teplem se snižuje teplota vzduchu a současně se zvyšuje entalpie nebo-li pracovní schopnost chladiva v oběhu.

adiabatická komprese – chladivo, které je ve formě páry, proudí do kompresoru a je v něm následně stlačeno na vyšší kondenzační tlak. Práci přivedenou do kompresoru zvyšujeme entalpii chladiva.

izotermická komprese – opětovnou změnu skupenství z páry na kapalinu zajistí kondenzátor. Kondenzace se uskutečňuje téměř při konstantním tlaku díky ohřívání látky, která odebírá teplo chladivu. Kondenzace chladiva je druhou vynucenou funkční změnou chladiva. Přejít z páry na kapalinu je opět podmíněn rozdílem teplot. Výrobce tento rozdíl udává 8 K. Ohřívání látky musí mít nižší teplotu, než má kondenzující chladivo. Odevzdaným teplem z oběhu se snižuje entalpie chladiva.

adiabatická expanze – zkondenzované chladivo dále putuje do expanzního ventilu, který sníží tlak chladiva pro výparník. Při expanzi chladiva se nekoná žádná práce a také nedochází k přechodu tepla do okolí. To je důvod, proč se entalpie chladiva nemění. Nižšímu tlaku chladiva odpovídá i jeho nižší teplota. Kapalně chladivo nemůže mít vyšší teplotu než je rovnovážná teplota, tedy teplota sytosti, při daném tlaku. Proto při poklesu tlaku expanzním ventilem z rovnovážného stavu klesá teplota pracovní látky. Za expanzním ventilem je chladivo ve stavu rovnovážné směsi kapaliny a par odpovídající stavu mokrých par chladiva.

Oběh tepelného čerpadla má tedy část vysokotlakou a část nízkotlakou, mezi nimi jsou kompresor a expanzní ventil jako dělicí prvky.



Obr. 4.6 Skutečný oběh tepelného čerpadla

děj 1-2 je adiabatická expanze	(expanzní ventil)
děj 2-3 je izotermická expanze	(výparník)
děj 3-4 je adiabatická komprese	(kompresor)
děj 4-1 je izotermická komprese	(kondenzátor)

#### 4.3 Kotel na dřevní pelety

Na základě požadavku investora byl navržen kotel Ponast KP 50 s rozsahem výkonu 13 – 48 kW včetně zásobníku paliva 700 l / 450 kg. Označení KP 50 udává, že se jedná o kotel bez elektrického temperování, tzn. bez možnosti úsporného temperování objektu pomocí elektrické energie. Kotel je určen pro spalování dřevních pelet o průměru 6 – 8,5 mm. Použitý hořákový systém se dvěma samostatnými pohony a systémem keramického katalického reflektoru zajišťuje dokonalé bezdýmé spalování paliva, což zajišťuje vysokou tepelnou účinnost a současně vynikající ekologické parametry s minimálním obsahem škodlivin ve spalinách. Automatický provoz zajišťuje řídicí jednotka kotle spolupracující s prostorovým termostatem.

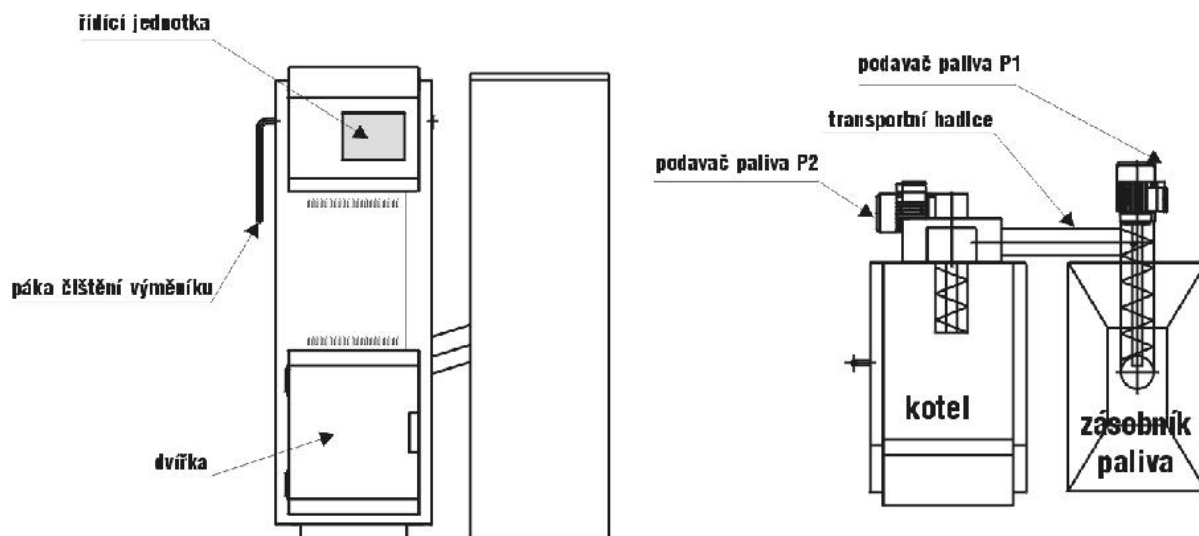
Instalovaný kotel na pelety je na obr. 4.7. Vedle kotle je zásobník na pelety. Automatika podávání paliva je umístěna na zadní části kotle. To je lépe vidět na obr. 4.8.



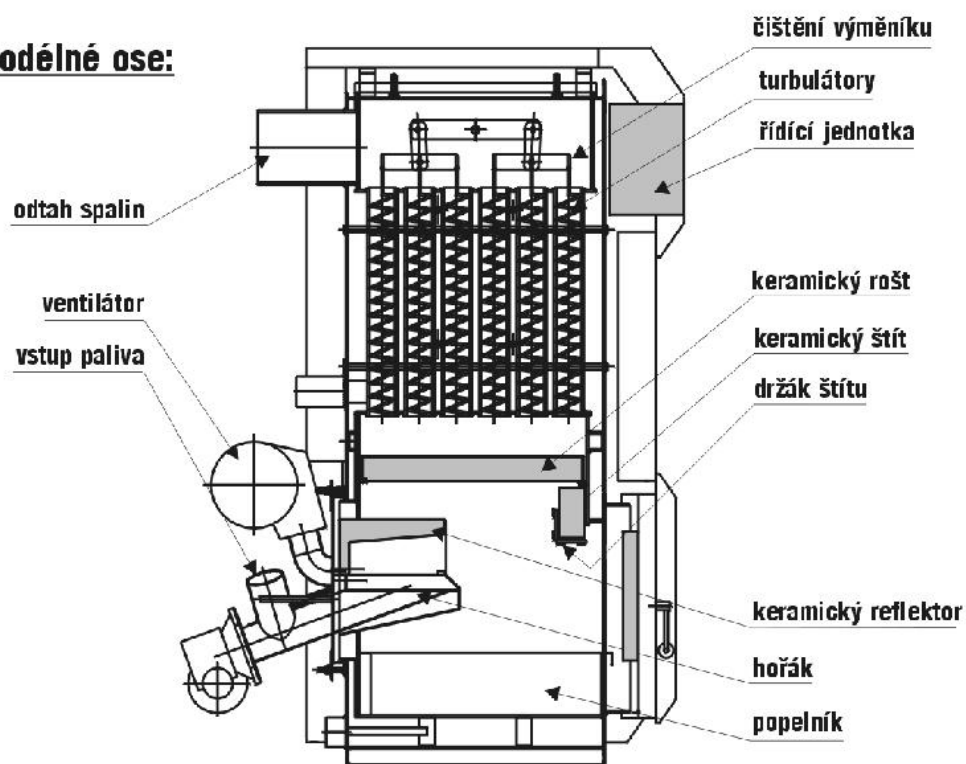
Obr. 4.7 Automatický kotel na dřevní pelety

Tepelně – technické parametry:

Jmenovitý výkon	48 kW
Výkonový rozsah	13 – 48 kW
Spotřeba paliva	3,9 – 12,9 kg / h
Elektrický příkon	210 W
Účinnost při jmenovitém výkonu	91 %
Účinnost při minimálním výkonu	90 %
Třída kotle	3 – dle ČSN EN 303-5 – Kotle pro ústřední vytápění



### Řez kotlem v podélné ose:



zdroj: [www.ponast.cz](http://www.ponast.cz)

Obr. 4.8 Schéma kotle a popis hlavních částí



#### 4.4 Solární kolektory

Na venkovní fasádě objektu jsou umístěny dvě sekce solárních kolektorů:  
7 ks – ENBRA 300 N2P+ orientovaných na jihozápad (odklon od jihu je 21°)  
8 ks – ENBRA 300 N2P+ orientovaných na jihovýchod (odklon od jihu je 69°)



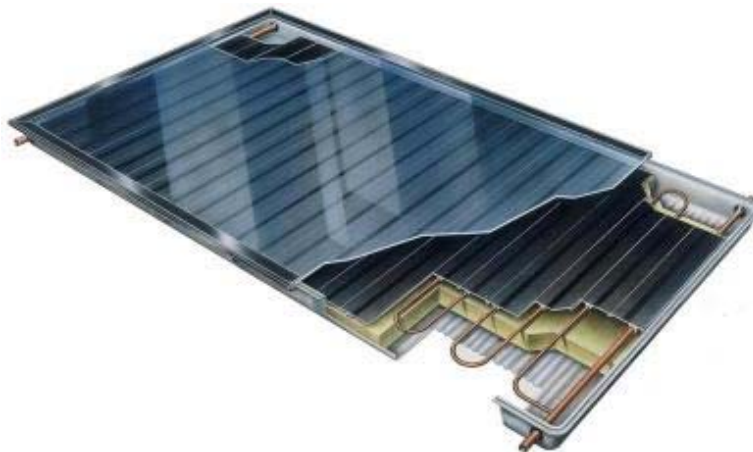
Obr. 4.9 Instalované solární kolektory

Kolektory jsou nainstalovány na ocelové konstrukci pod úhlem 60°. Každá sekce je osazena solární instalační jednotkou Regusol.

##### 4.4.1 Popis solárního panelu

Solární kolektory Enbra 300 N2P+ jsou zařízení na přeměnu sluneční energie na teplo o nízké energii, to je na energii přímo využitelnou člověkem. Nejčastěji jsou používány na ohřev vody a na přitápění. Řez tímto kolektorem je vidět na obr. 4.10.

Energie slunečního záření prochází bezpečnostním, dobře propustným sklem a je absorbována selektivní konverzní vrstvou na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním niklem umístěnou na hliníkové podložce. Z absorpční plochy kolektoru přechází teplo na měděnou trubičku ve tvaru meandru a dále do teplosné kapaliny. Všechny funkční části kolektoru jsou uloženy v uzavřeném prostoru mezi tvrzeným bezpečnostním krycím sklem a kompaktní hliníkovou vanou vyplněnou tepelnou izolací.



*zdroj: www.thermosolar.sk*

Obr. 4.10 Řez solárním kolektorem

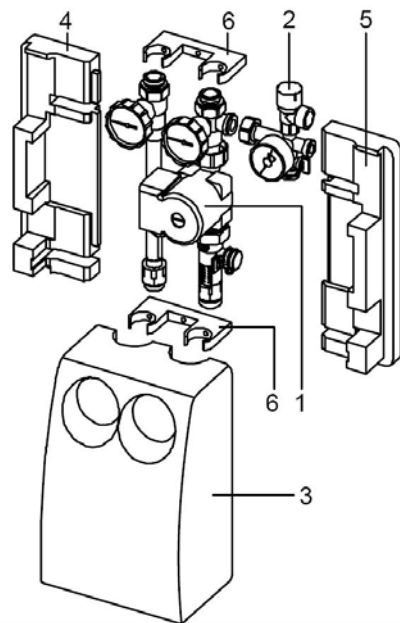
Kolektory jsou určeny pro celoroční provozování, proto pracují s odděleným primárním okruhem, který je naplněný nemrznoucí teplotonosnou kapalinou. Jsou určeny pro přeměnu energie, ale ne pro její akumulaci. Proto je jejich obsah co nejmenší a v případě využití pro přitápění nebo na přípravu TUV musí být propojeny s odpovídajícím akumulačním zásobníkem. Pro přímý ohřev vody se kolektory Enbra 300 N2P+ nesmí použít.

Víceokruhové systémy dokáží lépe využít tepelnou energii získanou z kolektorů, ale jsou finančně náročnější. Tento typ kolektoru je určený pro vertikální montáž s oběhovým čerpadlem. Zapojuje se maximálně 8 kolektorů do jedné řady. Životnost kolektorů výrobce udává na více jak 20 let.

Technické údaje solárního panelu

Půdorysná plocha	2,03 m <sup>2</sup>
Absorpční plocha	1,78 m <sup>2</sup>
Optická účinnost	80 %

#### 4.4.2 Solární instalační jednotka Regusol – dvouvětвовá



zdroj: [www.thermosolar.sk](http://www.thermosolar.sk)



Obr. 4.11 Solární instalační jednotka Regusol

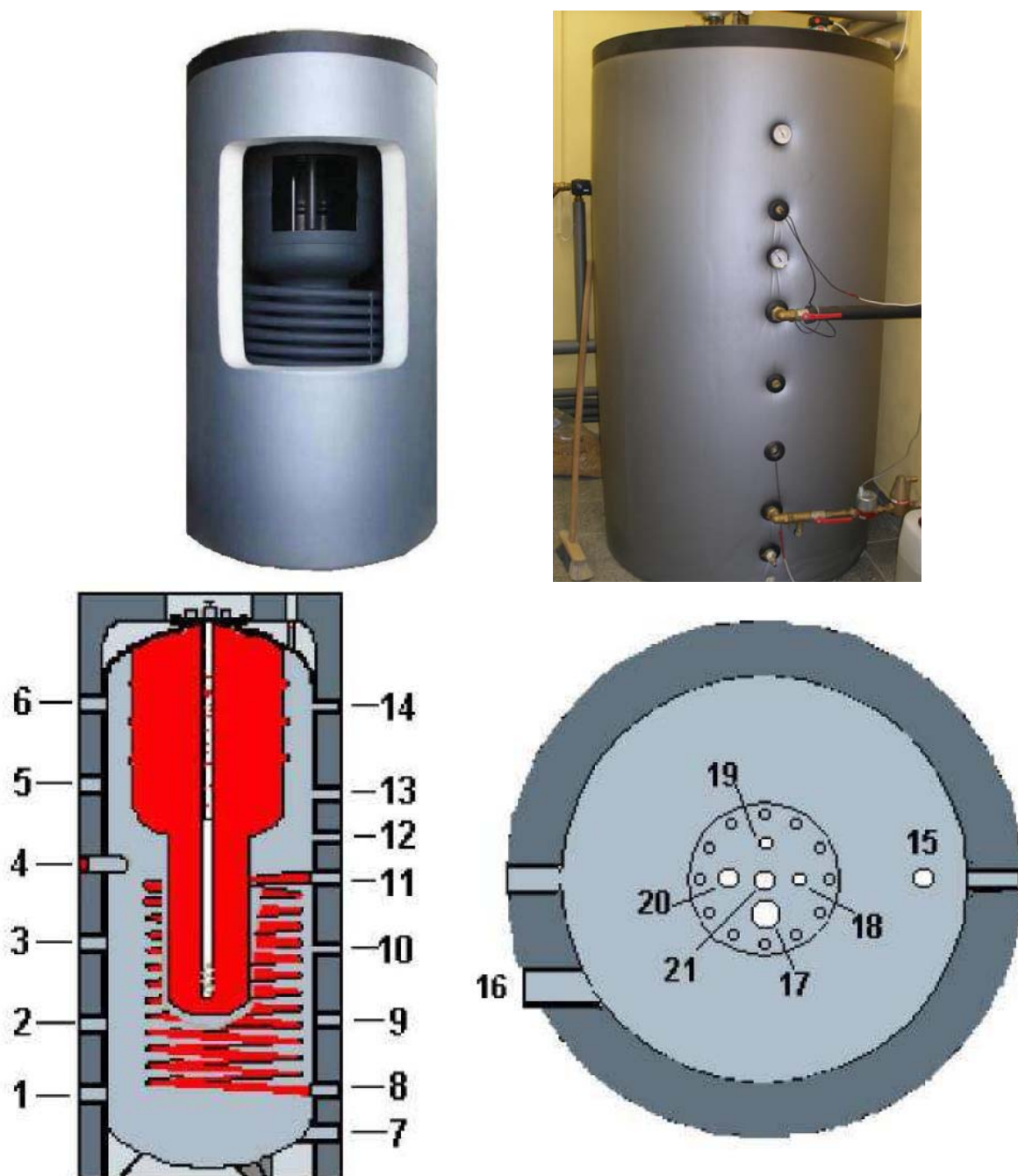
- 1 – těleso solární instalační jednotky
- 2 – pojistná armatura
- 3 – přední tepelně – izolační obal
- 4,5 – zadní tepelně – izolační obaly
- 6 – držák

Solární instalační jednotka je určena pro nátokovou i vratnou větev primárního okruhu solárních kolektorů. Zabezpečuje oběh teplotonosné kapaliny, měření a regulování průtoku, uzavírání a dodržování maximálního přetlaku. Solární instalační jednotku je třeba vždy montovat níž než kolektory tak, aby se pára nedostala do expanzní nádoby.



#### 4.5 Akumulační nádrž

Akumulace tepla ze všech zdrojů umístěných v kotelně probíhá do akumulací nádrže TS – K 1500/300. Jedná se o zásobník na teplou vodu (na vytápění), ve kterém je umístěn další menší zásobník na pitnou vodu (TUV). Vnitřní povrch menšího zásobníku je pokrytý smaltem. Dvojitá vrstva smaltu ve vnitřním zásobníku zajišťuje i jeho dobrou korozní ochranu. Další korozní ochrana je zajištěna hořčíkovou anodou. Celý zásobník je zaizolován pěnovým polyuretanem o tloušťce 100 mm. Označení 1500/300 znamená, že celkový objem zásobníku je 1500 litrů a vnitřní zásobník TUV má objem 300 litrů. To znamená, že množství vody na vytápění je 1200 litrů.



zdroj: [www.thermosolar.sk](http://www.thermosolar.sk)

Obr. 4.12 Akumulační nádrž umístěná v kotelně

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1 – zpátečka do kotle                              | 11 – přívod z kolektorů     |
| 2 – zpátečka z vytápěcího systému                  | 12, 13, 18 – snímač teploty |
| 3 – připojení doplňkového vytápěcího systému       | 14 – teploměr               |
| 4, 16 – elektrická odporová spirála                | 15 – odvzdušnění            |
| 5 – přívod do vytápěcího systému                   | 17 – hořčíková anoda        |
| 6 – přívod z kotle                                 | 19 – cirkulace              |
| 7 – zpátečka z vytápěcího systému/vypouštěcí otvor | 20 – výstup teplé vody      |
| 8 – zpátečka do kolektorů                          | 21 – vstup studené vody     |
| 9, 10 – snímač teploty pro solární regulátor       |                             |

#### 4.6 Regulace

Regulátor DX4303 je určen na regulaci celého systému. Distribuuje teplonosnou kapalinu do jednotlivých okruhů pomocí akčních členů jako jsou čerpadla a přepínací ventily. Přístroj je vybavený časově programovatelným zařízením, které se používá při zapínání pomocného zdroje energie v případě nedostatku tepla v určeném okruhu.



Obr. 4.13 Regulátor DX4303

Množství získávané energie z obnovitelných zdrojů neodpovídá požadavkům okamžité potřeby tepla. Z tohoto důvodu je nutné, aby se tato energie akumulovala. Regulátor musí z funkčního hlediska zabezpečit v případě vhodných pracovních podmínek přenos získaného tepla do zásobníku. Zároveň musí zabránit odvodu tepla ze zásobníku v případě nevhodných pracovních podmínek a musí zabezpečit dodržení bezpečných teplot v zásobníku.

Jakmile teplota v zásobníku dosáhne minimální nastavené hodnoty, regulátor sepne oběhové čerpadlo příslušného zdroje. Za nepříznivých klimatických podmínek, kdy nejsou schopny solární kolektory ani tepelné čerpadlo dodávat potřebné teplo, vyšle regulátor signál řídicí jednotce peletového kotle a ten potřebné teplo dodá.

Systém upřednostňování jednotlivých zdrojů z hlediska regulace je nastaven tak, že přednost mají solární kolektory před tepelným čerpadlem a kotlem na pelety. A tepelné čerpadlo má přednost před kotlem na pelety.

V praxi to vypadá tak, že pokud jsou solární kolektory schopny dodávat dostatečné množství potřebného tepla, tak jsou ostatní zdroje mimo provoz. A to i v případě, že by tyto zdroje teplo dodávat mohly. V případě, že se stane množství dodávaného tepla ze solárních kolektorů nedostatečným, sepne regulátor tepelné čerpadlo. Pokud je potřeba tepla vyšší než kolik mohou dodávat solární kolektory a tepelné čerpadlo dohromady, sepne kotel na pelety a zbytek tepla dodá. V případě dostatku tepla je pořadí vypínání zdrojů opačný – tedy kotel na pelety, tepelné čerpadlo, solární kolektory.

## 5. Měření

Každý zdroj má svůj vlastní měřič tepla. Jedná se o statické fluidikové průtokoměry Sontex Superstatic 442. Pro grafický výstup jsou použity kalorimetrická počítačidla Sontex Supercal 531.

Hodnoty pro vyhodnocení jsem odečítal v období od 1.2.2008 do 30.4.2008. Frekvence odečtů je po 1 hodině v každou celou hodinu. Tyto hodnoty jsou k dispozici na internetové adrese <http://hksolar.aspweb.cz/Data/ActDataAll.aspx>. V tab. 5.1 je popsáno jaké druhy veličin jsem měl k dispozici.

Popisek	Hodnota	Jednotka	Datum/čas	Zařízení
Energie	5,70688	MWh	11.02.08 09:00	Solární kolektor
Objem	545,875	m <sup>3</sup>	11.02.08 09:00	
Teplota přívodu	51,7	°C	11.02.08 09:00	
Teplota zpátečky	49,4	°C	11.02.08 09:00	
Průtok	0,13	m <sup>3</sup> /h	11.02.08 09:00	
Výkon	5,271	kW	11.02.08 09:00	
Energie	20,1376	MWh	11.02.08 09:00	Peletový kotel
Objem	1745,48	m <sup>3</sup>	11.02.08 09:00	
Teplota přívodu	52,8	°C	11.02.08 09:00	
Teplota zpátečky	30,6	°C	11.02.08 09:00	
Průtok	0	m <sup>3</sup> /h	11.02.08 09:00	
Výkon	0	kW	11.02.08 09:00	
Energie	24,87913	MWh	11.02.08 09:00	Tepelné čerpadlo
Objem	3914,643	m <sup>3</sup>	11.02.08 09:00	
Teplota přívodu	53,8	°C	11.02.08 09:00	
Teplota zpátečky	46,9	°C	11.02.08 09:00	
Průtok	1,66	m <sup>3</sup> /h	11.02.08 09:00	
Výkon	13,032	kW	11.02.08 09:00	
Energie	0	kWh	11.02.08 09:00	Elektroměr
Teplota přívodu	31	°C	11.02.08 09:00	Venkovní teploměr
Teplota zpátečky	50,6	°C	11.02.08 09:00	Teploměr v zásobníku
Příkon	0	kW	11.02.08 09:00	Elektroměr

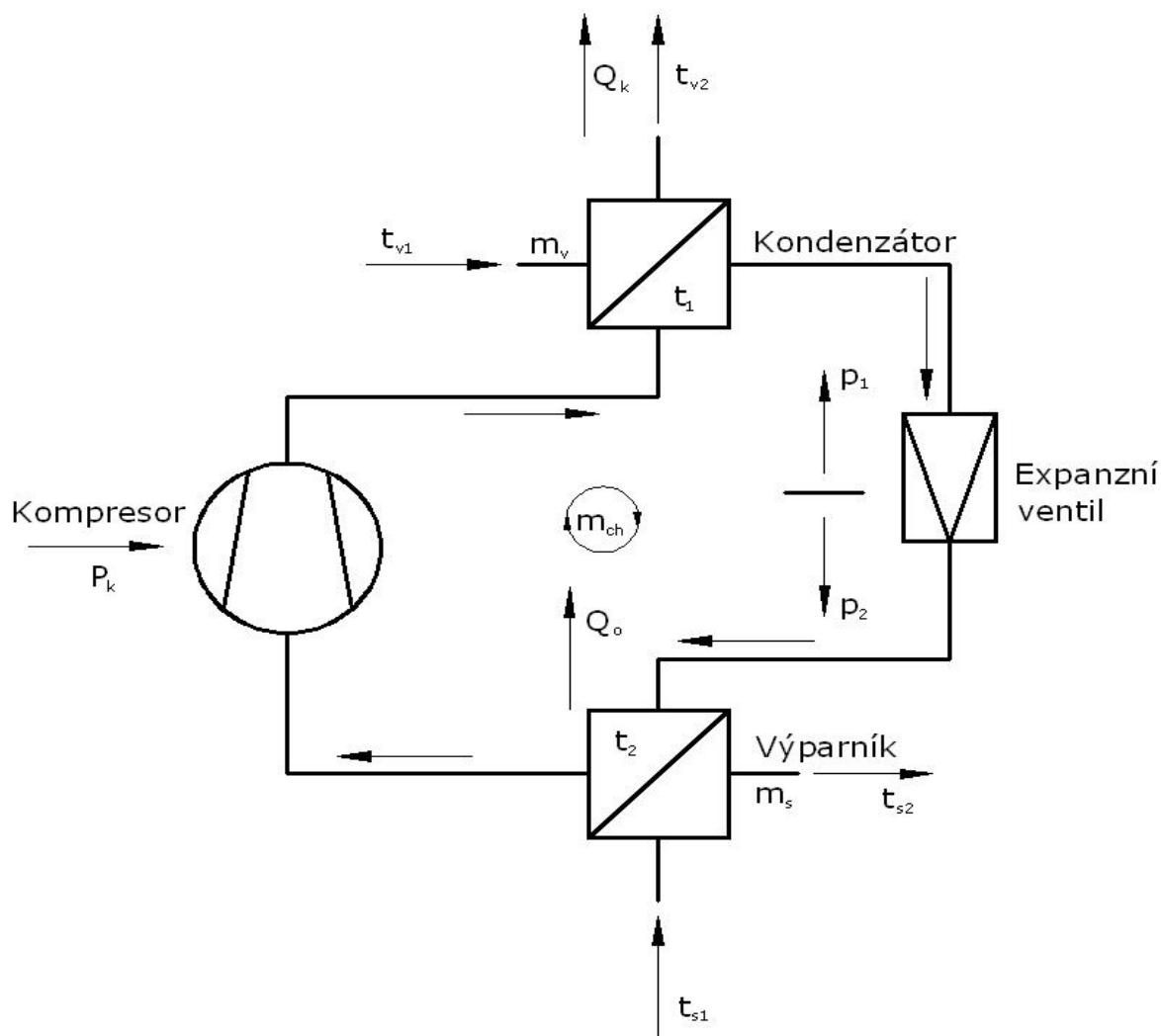
Tab. 5.1 Odečítané hodnoty

Bohužel velmi důležité údaje jako jsou spotřeba elektrické energie samotného tepelného čerpadla a okamžitý příkon tepelného čerpadla nebylo možno odečítat. Elektroměry pro tyto údaje byly nainstalovány až po 30.4.2008, tedy po mém ukončení sběru dat.

Celková spotřeba elektrické energie budovy není o mnoho vyšší než spotřeba samotné kotelny. Je to z toho důvodu, že budova je v současné době nevyužívaná, takže spotřeba elektrické energie mimo kotelnu není příliš velká.

Dále jsem odečítal z meteorologické stanice Brno – Žabovřesky průměrné denní teploty a délku denního slunečního svitu. Výše jsem sice uvedl, že kotelna v Popůvkách je vybavena venkovním teploměrem vzduchu se záznamem. Hodnoty z něho získané však nejsou dostatečně důvěryhodné. V porovnání s hodnotami z meteorologické stanice Brno – Žabovřesky, které lze považovat, s ohledem na skutečnost, že se jedná o základní stanici Českého hydrometeorologického ústavu, za dostatečně přesné, se ve slunečných dnech liší o 10 °C až 20 °C. Vzdušná vzdálenost mezi meteorologickou stanicí Brno – Žabovřesky a obcí Popůvky je přibližně 6 km, takže hodnoty sledovaných veličin na obou místech jsou prakticky shodné.

## 6. Energetická bilance



Obr. 6.1 Bilanční schéma primárního okruhu tepelného čerpadla

$m_s$  – množství vzduchu, které projde přes výparník [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$t_{s1}$  – teplota vzduchu před výparníkem [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{s2}$  – teplota vzduchu za výparníkem [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_2$  – teplota chladiva ve výparníku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$Q_o$  – teplo odebrané vzduchu ve výparníku [ $\text{Wh}$ ]

$P_k$  – elektrický příkon kompresoru [ $\text{W}$ ]

$t_1$  – teplota chladiva v kondenzátoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$Q_k$  – teplo odevzdané chladivem v kondenzátoru [ $\text{Wh}$ ]

$m_v$  – množství teplotnosného média [ $\text{l/h}$ ]

$t_{v1}$  – teplota teplotnosného média před kondenzátorem [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{v2}$  – teplota teplotnosného média za kondenzátorem [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$p_1$  – tlak chladiva před expanzním ventilem [ $\text{kPa}$ ]

$p_2$  – tlak chladiva za expanzním ventilem [ $\text{kPa}$ ]

$m_{ch}$  – množství chladiva [ $\text{l/h}$ ]

Tepelný výkon tepelného čerpadla je dán součtem energie odebrané z okolního prostředí a energie ve formě elektrické energie dodané především pro pohon kompresoru. Energetická bilance tepelného čerpadla je daná rovnicí:

$$Q_k = Q_o + E_d \quad (6.1)$$

kde je:

$Q_k$  – kondenzační užitková energie, nebo-li energie dodaná akumulární nádrži [kWh],

$Q_o$  – energie odebraná nízkopotenciálnímu zdroji [kWh],

$E_d$  – elektrická energie dodaná tepelnému čerpadlu [kWh].

Z měření vím, že užitkové teplo  $Q_k$  je 11.674,83 kWh. Z důvodu, který jsem uvedl výše, neznám množství elektrické energie  $E_d$  dodané tepelnému čerpadlu, přesněji řečeno kompresoru. Znáám pouze hodnotu dodanou celé budově. Ta je 7.704,7 kWh.

Odvozením ze vztahu (6.1) platí:  $Q_o = Q_k - E_d$

po dosazení  $Q_o = 11.674,83 - 7.704,7 = 3.970,13 \text{ kWh}$

Hodnota 3.970,13 kWh tedy udává minimální množství energie, která byla získána zdarma z okolního vzduchu pomocí tepelného čerpadla. Ve skutečnosti je tato hodnota vyšší. Skutečné množství takto získávané energie bude možno zjistit až po nainstalování chybějících elektroměrů.

## 6.1 Potřeby tepla

Z naměřených hodnot sestavil grafy spotřeby tepla. Na obr. 6.1, obr. 6.2 a obr. 6.3 jsou znázorněny denní diagramy spotřeby tepla pro jednotlivé dny. Dny jsem vybíral tak, aby měly co nejpodobnější průměrnou denní teplotu a různou délku slunečního svitu. Tudiž, aby byly co nejlépe porovnatelné.

Veškeré hodnoty průměrných denních teplot a délek přímého slunečního svitu za měřené období, které jsem odečetl, jsou uspořádány v tab. 6.1. Hodnoty jsou odečteny z meteorologické stanice Brno – Žabovřesky. Pro vypracované grafy jsou hodnoty v tab. 6.2. i s číslem obrázku, ke kterému patří.

Graf na obr. 6.4 jsem vypracoval proto, aby bylo vidět, jak se projeví činnost peletového kotle.

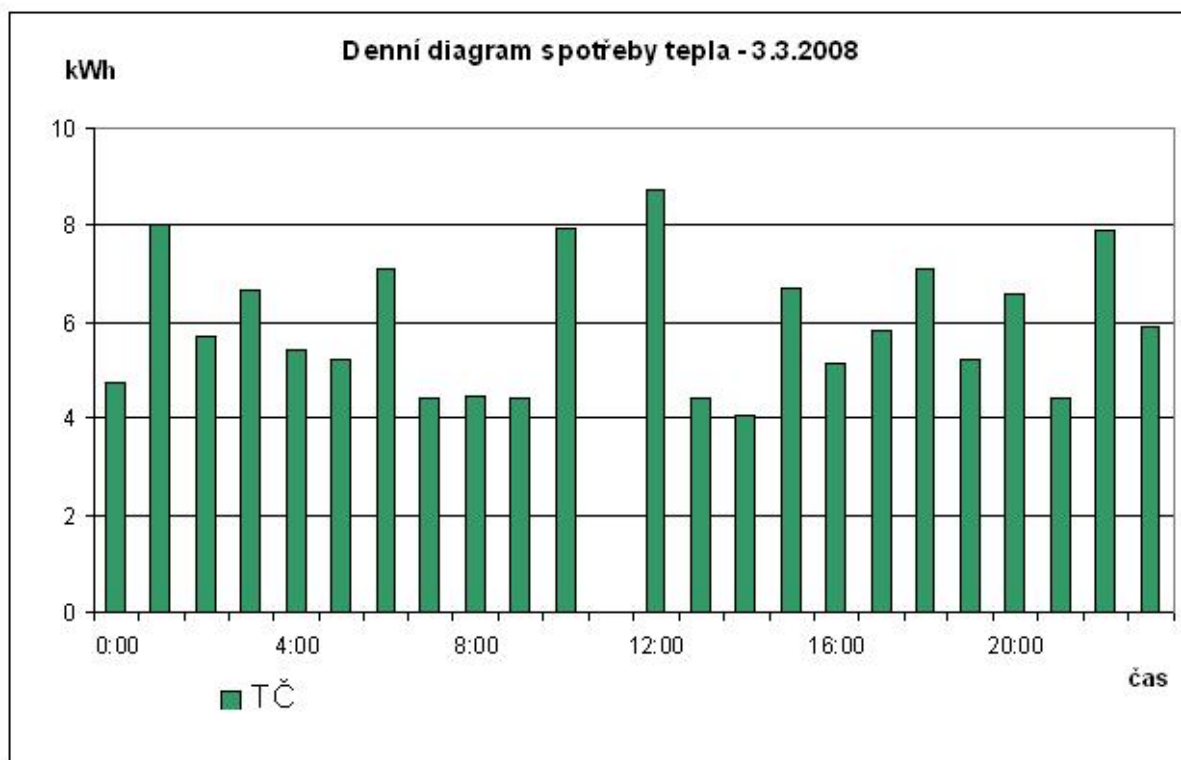
	Únor 2008		Březen 2008		Duben 2008	
den v měsíci	průměrná denní teplota [°C]	délka přímého slunečního svitu [hod]	průměrná denní teplota [°C]	délka přímého slunečního svitu [hod]	průměrná denní teplota [°C]	délka přímého slunečního svitu [hod]
1.	2,3	0	8	1,9	10,6	10,5
2.	3,7	0	8,5	7	8,5	3,8
3.	2,4	8,7	7,7	0	7,5	1
4.	4,8	1	2,5	0	7,3	2,3
5.	4,1	1,9	0,6	3,8	8,1	5,9
6.	5,9	1,4	-0,4	10,7	7,7	4,8
7.	4,6	7,5	2,6	10,6	4,2	1,2
8.	2,9	3,4	6,4	6,8	4,8	10,1
9.	2,4	5,5	5,5	9,8	13	9,4
10.	1,2	6,5	7,6	5,7	14,2	9,8
11.	0,1	7,3	5,8	1,2	16,4	10,5
12.	-3,6	1,5	7,6	1,7	8,1	2,6
13.	-1,9	0	4,1	6,6	10,8	6,3
14.	1,4	0	4,4	5	10,9	8,4
15.	-1,2	5,7	6,1	11,1	9,4	3,2
16.	-4,9	6,9	6,7	8	6,7	0
17.	-4,9	4,1	5,5	9	5,7	5,2
18.	3,2	3	1,8	6,5	9,7	7,8
19.	4	8	1	7,2	10,2	2,8
20.	2,4	8,6	0	6,1	9	4,1
21.	3,4	2	2	5,2	13	9,1
22.	9	2,2	4	3,2	10,4	7,4
23.	9,3	1,9	2,6	4,9	10,8	2,9
24.	9,6	9,7	2,3	1,5	11,1	11,2
25.	7,8	5,5	-0,1	4,6	8,6	3,1
26.	7,6	9,2	1,4	2,5	10,6	5,6
27.	6,9	1,6	4,3	1,3	13,1	12,9
28.	4,8	6,9	6,8	3,6	13,5	13,2
29.	3,2	0	7,9	3,4	13,5	13,2
30.			8,1	11,6	13,6	1,3
31.			11,2	11,8		

Tab. 6.1 Průměrné denní teploty a délky přímého slunečního svitu za měřené období

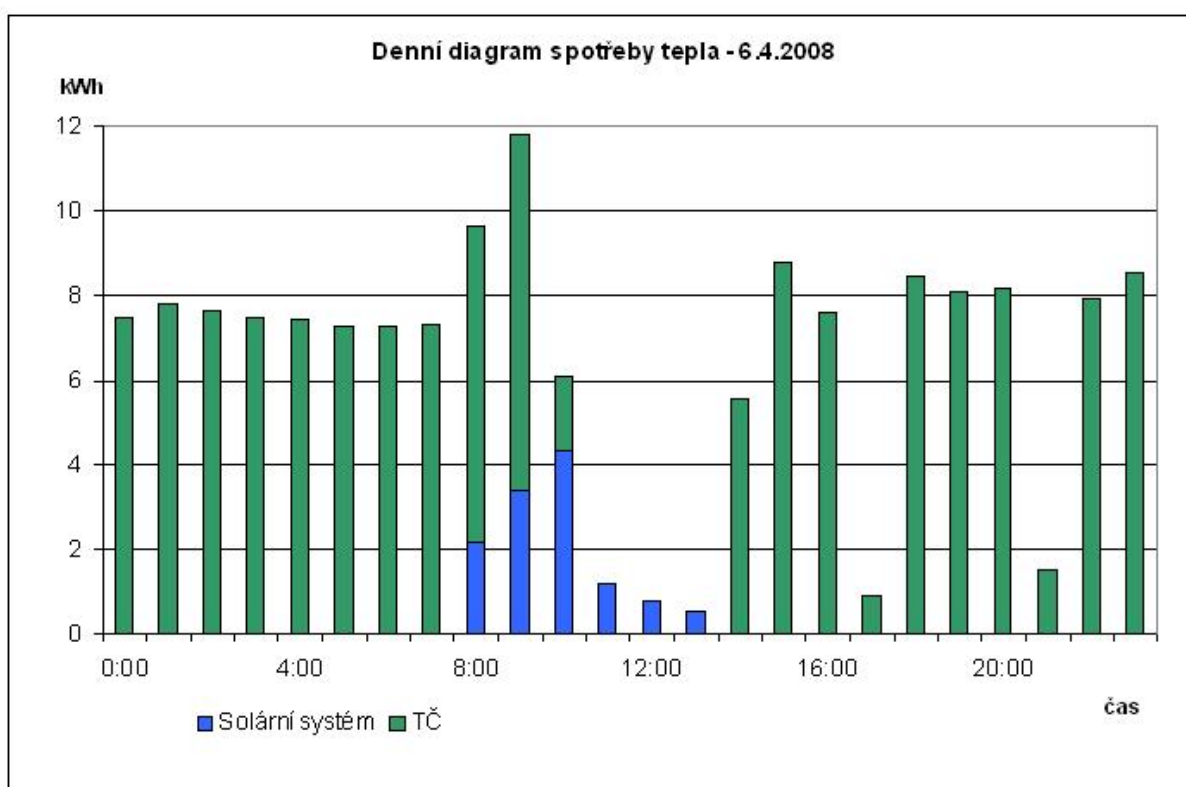
Obrázek	6.1	6.2	6.3	6.4
Datum	3.3.2008	6.4.2008	26.2.2008	7.2.2008
Průměrná teplota [°C]	7,7	7,7	7,6	4,8
Délka přímého slunečního svitu [hod]	0	4,8	9,2	7,5
Spotřeba tepla [kWh]	136,1	155,28	144,57	319,02

Tab. 6.2 Průměrné denní teploty a délky přímého slunečního svitu pro vybrané dny

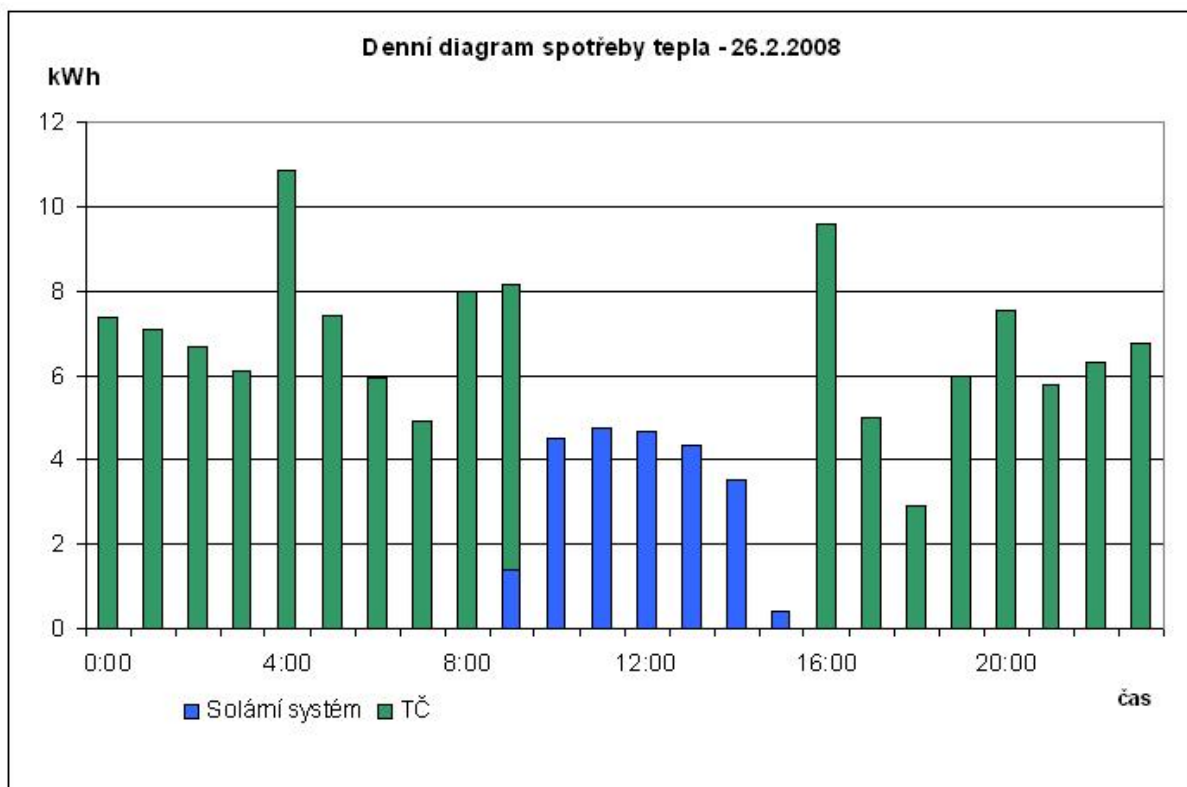




Obr. 6.1 Denní diagram potřeb tepla – 3.3.2008



Obr. 6.2 Denní diagram potřeb tepla – 6.4.2008



Obr. 6.3 Denní diagram potřeb tepla – 26.2.2008

Na obr. 6.1 je denní diagram potřeby tepla jednoho z dní, kdy dopadalo minimální množství přímého slunečního svitu v měřeném období. To je důvod, proč solární kolektory nedodávaly žádné teplo do akumulární nádrže. Veškerou potřebu tepla bylo schopno pokrýt tepelné čerpadlo bez pomoci peletového kotle.

Přínos solárních kolektorů je vidět na obr. 6.2 Dne 6.4.2008 dopadaly sluneční paprsky na kolektory v době od 6:30 do 12:30. Okolo desáté hodiny došlo k poklesu intenzity přímého slunečního svitu, což se projevilo i na činnost solárních kolektorů, jak je vidět na obr. 6.2. Zbytek tepla dodávalo tepelné čerpadlo.

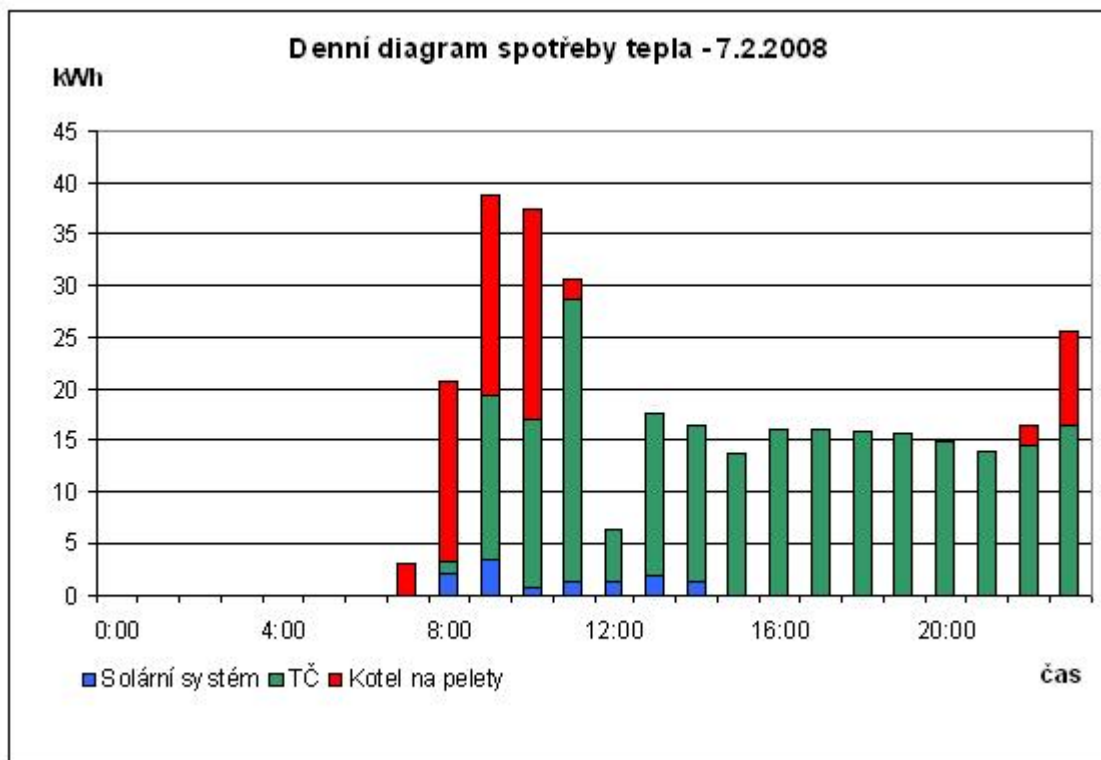
Podobně se systém choval i 26.2.2008, kdy přímý sluneční svit trval nepřetržitě od 8:00 do 17:00. Přesto došlo kolem 12:00 k poklesu výkonu solárních kolektorů. Bylo to způsobeno tím, že voda v akumulární nádrži byla ohřáta na dostatečnou teplotu a nebylo potřeba dodávat maximální možné množství tepla. Tuto regulaci takto zajistil regulátor DX4303. Jeho činnost jsem detailněji popsal dříve.

Očekával jsem, že v grafech bude patrný pokles potřeb tepla v noci. To, že tento pokles není patrný, může ukazovat na špatně nastavenou regulaci, respektive na nastavenou stejnou teplotu vytápění pro denní i noční dobu. Vzhledem k tomu, že se jedná o administrativní budovu, ve které v noci nikdo není, je takové nastavení teploty nevhodné.

Dále stojí za povšimnutí celková spotřeba tepla za jednotlivé dny (3.3., 6.4. a 26.2.). Největší spotřebu tepla jsem vzhledem ke klimatickým podmínkám očekával dne 3.3.2008, kdy jsou solární zisky budovy nulové. Tento den je však spotřeba tepla nejnižší. Přitom průběhy teplot ve dnech, které předcházely těmto třem sledovaným dnům, jsou podobné. Faktem je, že spotřeba tepla je závislá na venkovní teplotě. Stálo by za to prozkoumat pomocí dlouhodobějšího měření, zda takové malé rozdíly v průběhu teplot výrazně ovlivňují spotřebu tepla nebo zda jde o chybu v regulaci.



Z grafu na obr. 6.4 je dobře vidět, jak vypadá výroba tepla ze všech tří zdrojů zároveň. Na sloupci mezi 9:00 a 10:00 (třetí sloupec zleva) je vidět, že potřeba tepla je v této době 38,5 kWh. Solární kolektory jsou schopny dodávat pouze 3,5 kWh. Zbylých 35 kWh není tepelné čerpadlo schopno pokrýt, proto je v činnosti i kotel na pelety.



Obr. 6.4 Denní diagram potřeb tepla – 7.2.2008

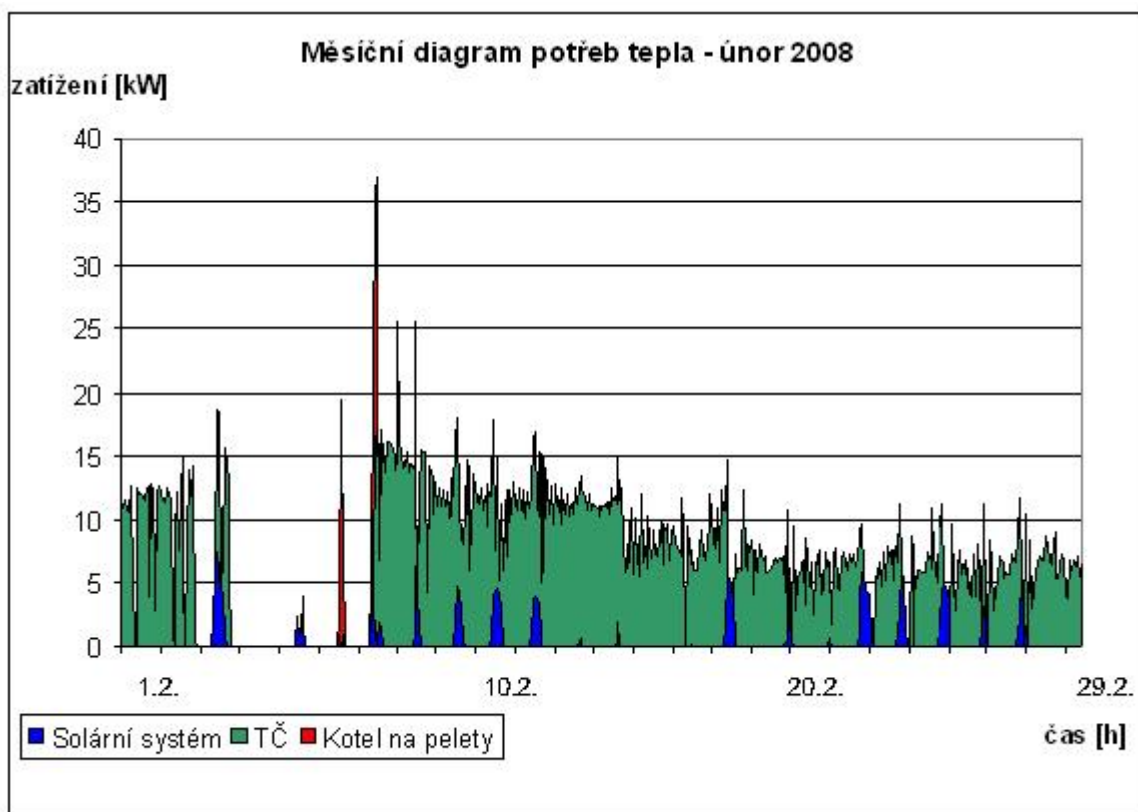
Další grafy, které jsem vypracoval, ukazují měsíční potřeby tepla. Ke každému měsíci (únor, březen, duben) jsem vypracoval tři grafy. Na prvním grafu je potřeba tepla v hodinových intervalech. Druhý graf ukazuje spotřebu tepla za jednotlivé dny v měsíci. Na posledním grafu je vidět průběh průměrných denních teplot během měsíce.

Při porovnání průběhu teplot se spotřebami tepla během jednotlivých měsíců je vidět, že, spotřeba tepla kolísá v závislosti na venkovní teplotě. Z toho plyne, že potřeba tepla je závislá na venkovní teplotě.

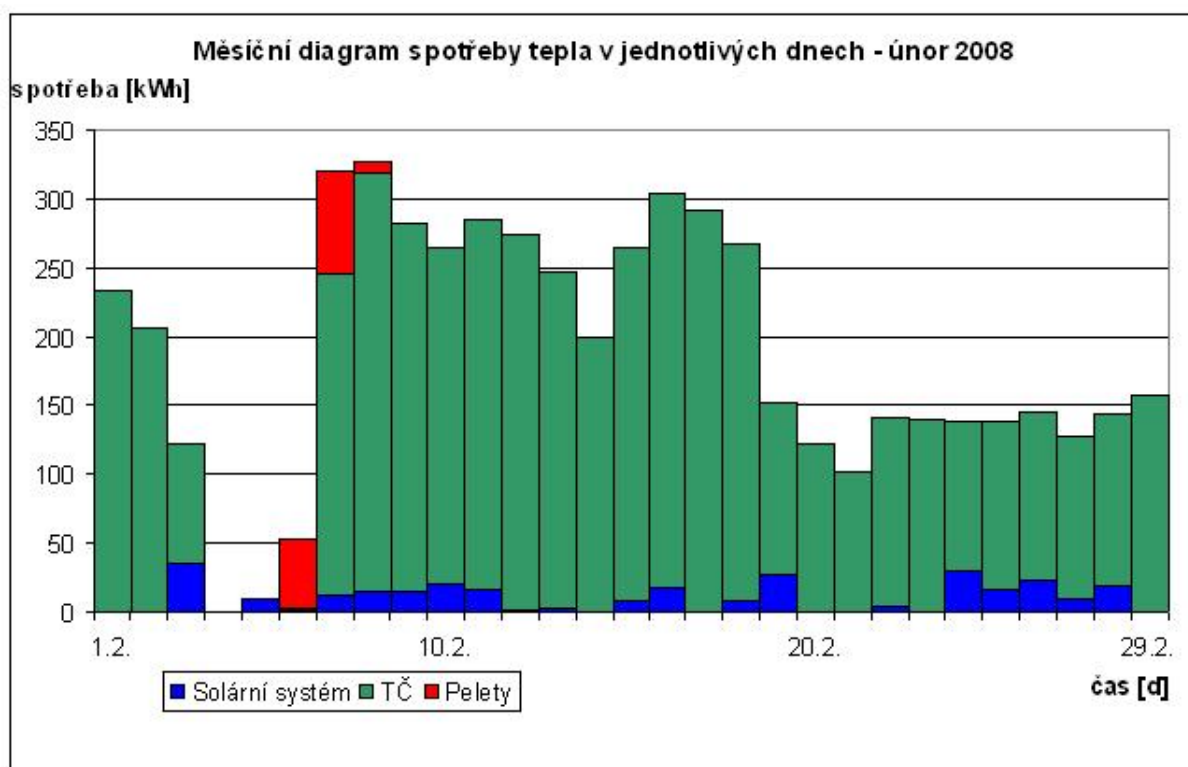
Výrazný propad ve spotřebě tepla v první dekádě měsíce února je způsoben tím, že kotelná byla v poruše. S tím souvisí i následná velká potřeba tepla při opětovném najíždění, protože budova byla vychlazená. To byl jeden z mála momentů, kdy byl v činnosti i kotel na pelety. Pokud by kotel teplo nedodal, byl by efekt pouze takový, že solární kolektory a tepelné čerpadlo by budovu vytopily na žádanou teplotu za delší dobu.

Stejně grafy jsem vypracoval i pro celé měřené období, tedy pro únor 2008 až duben 2008. Na obr. 6.14 je vidět, že zpracování potřeb tepla v hodinových intervalech do diagramu pro tak dlouhé období již není vhodné. Není zde vidět barevné odlišení jednotlivých zdrojů.

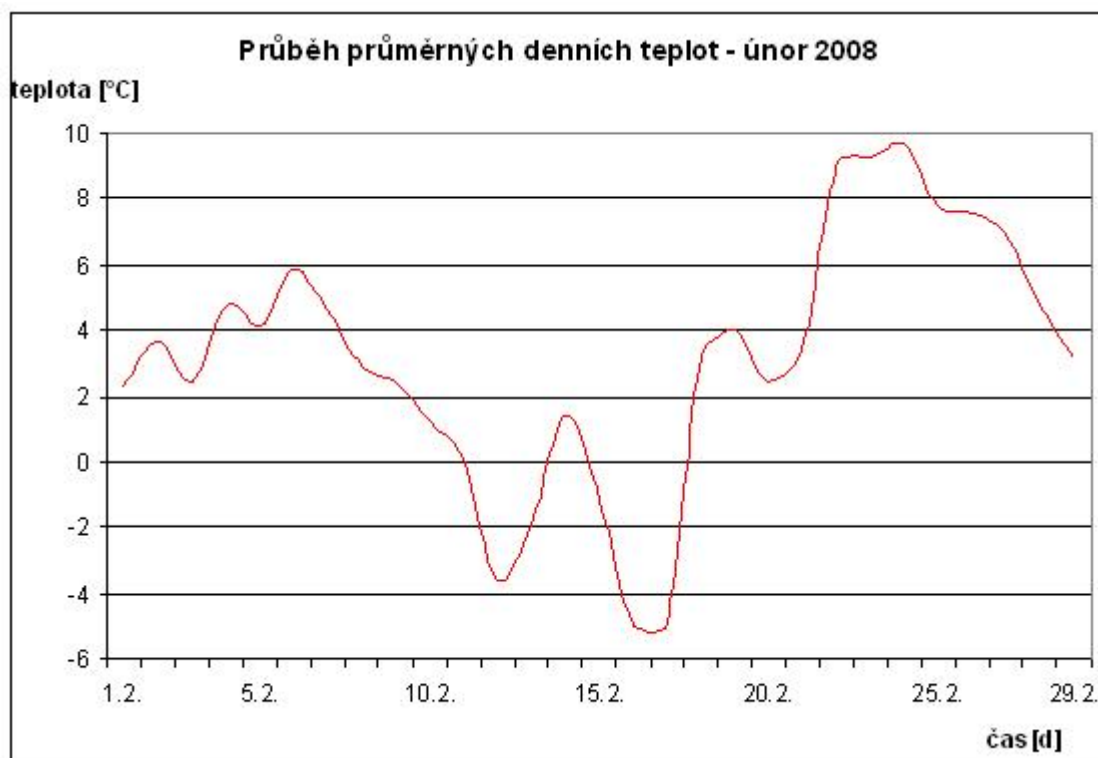
Pro takto dlouhé období je již vhodné průběh spotřeby tepla v jednotlivých dnech znázorňovat jako spojitý graf místo sloupcového (viz obr. 6.15 a obr. 6.16).



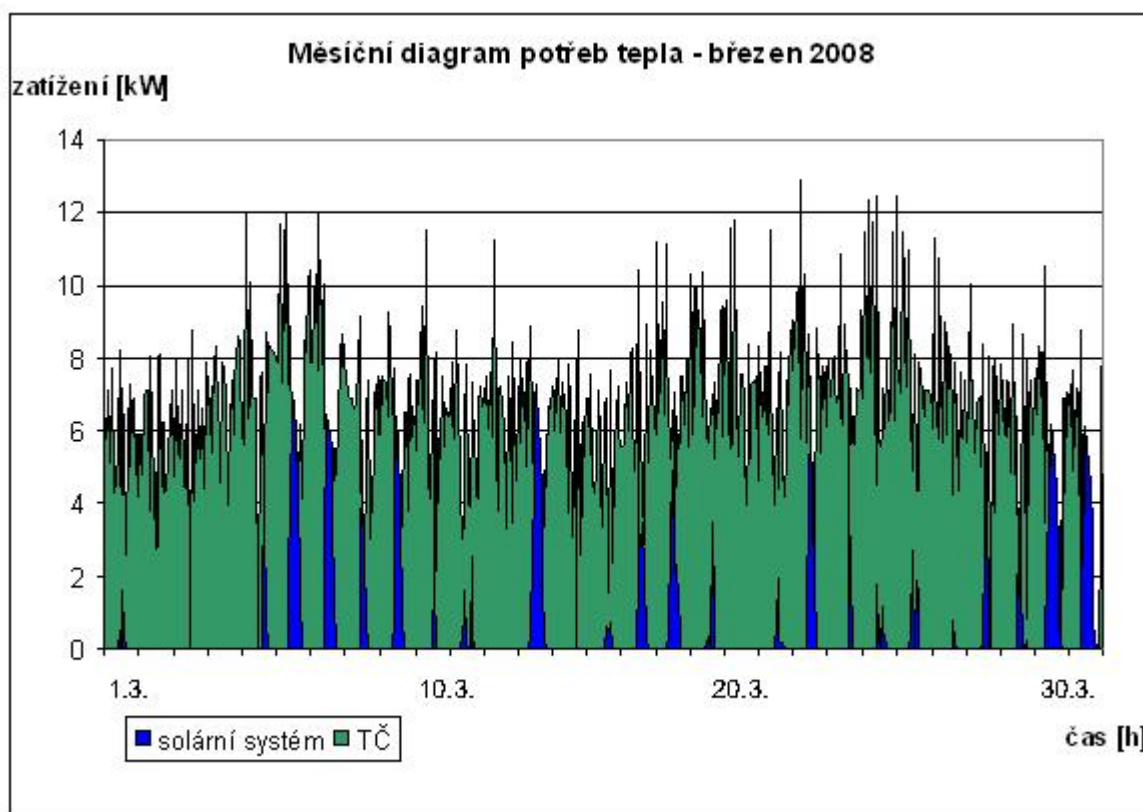
Obr. 6.5 Měsíční diagram potřeb tepla – únor 2008



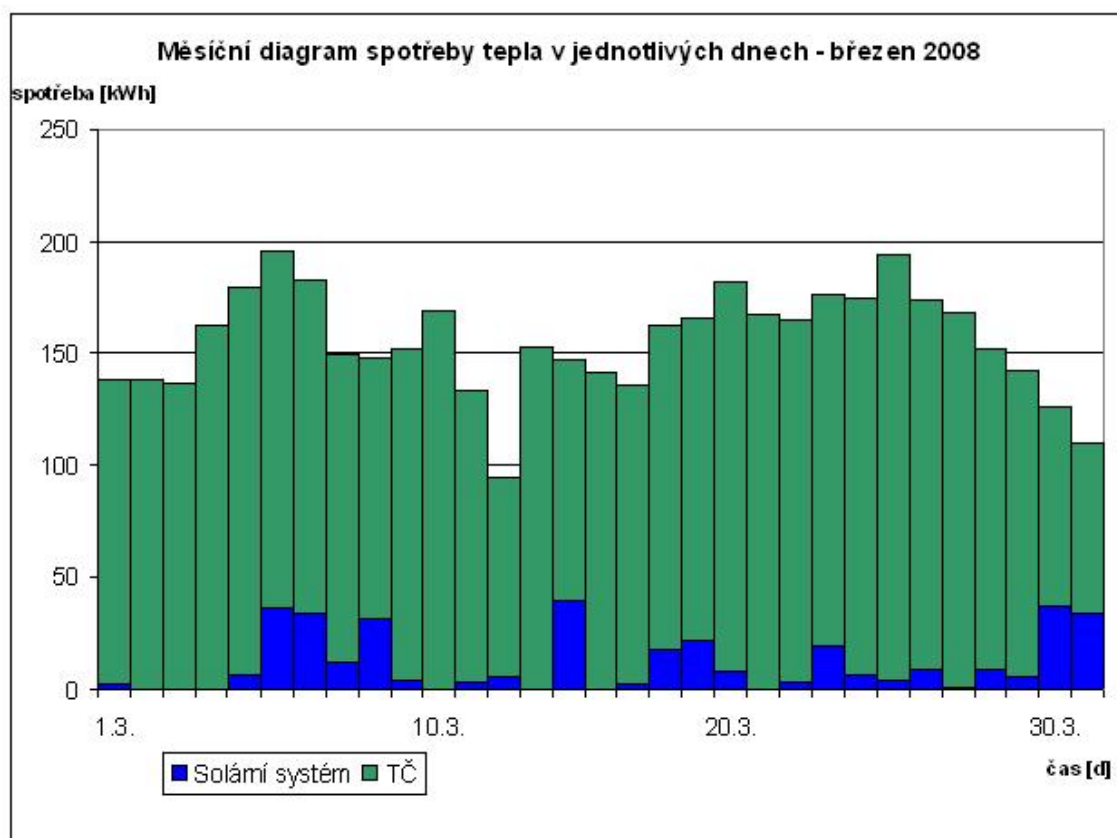
Obr. 6.6 Měsíční diagram spotřeby tepla v jednotlivých dnech – únor 2008



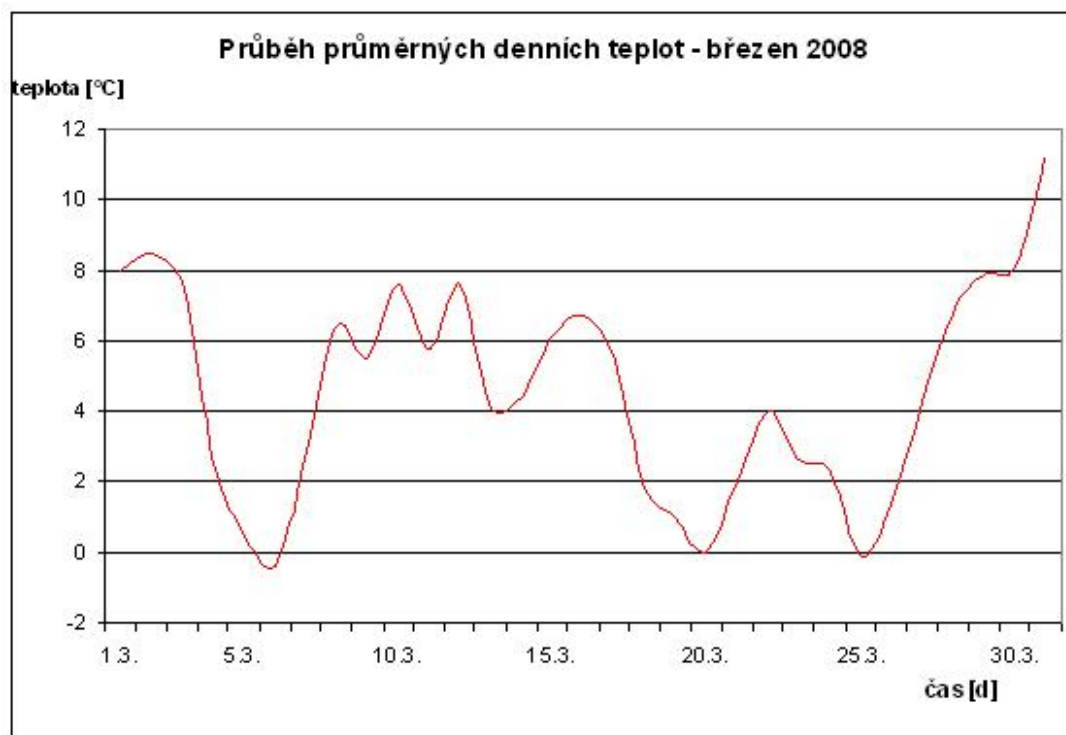
Obr. 6.7 Průběh průměrných denních teplot – únor 2008



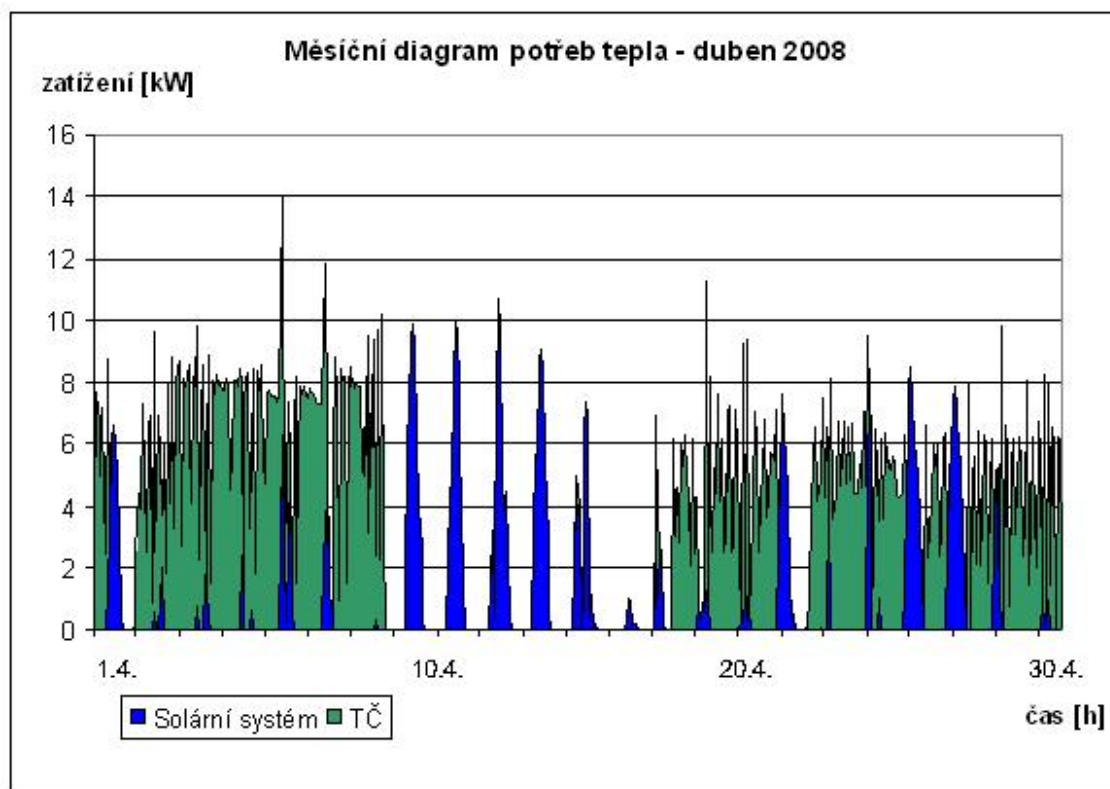
Obr. 6.8 Měsíční diagram potřeb tepla – březen 2008



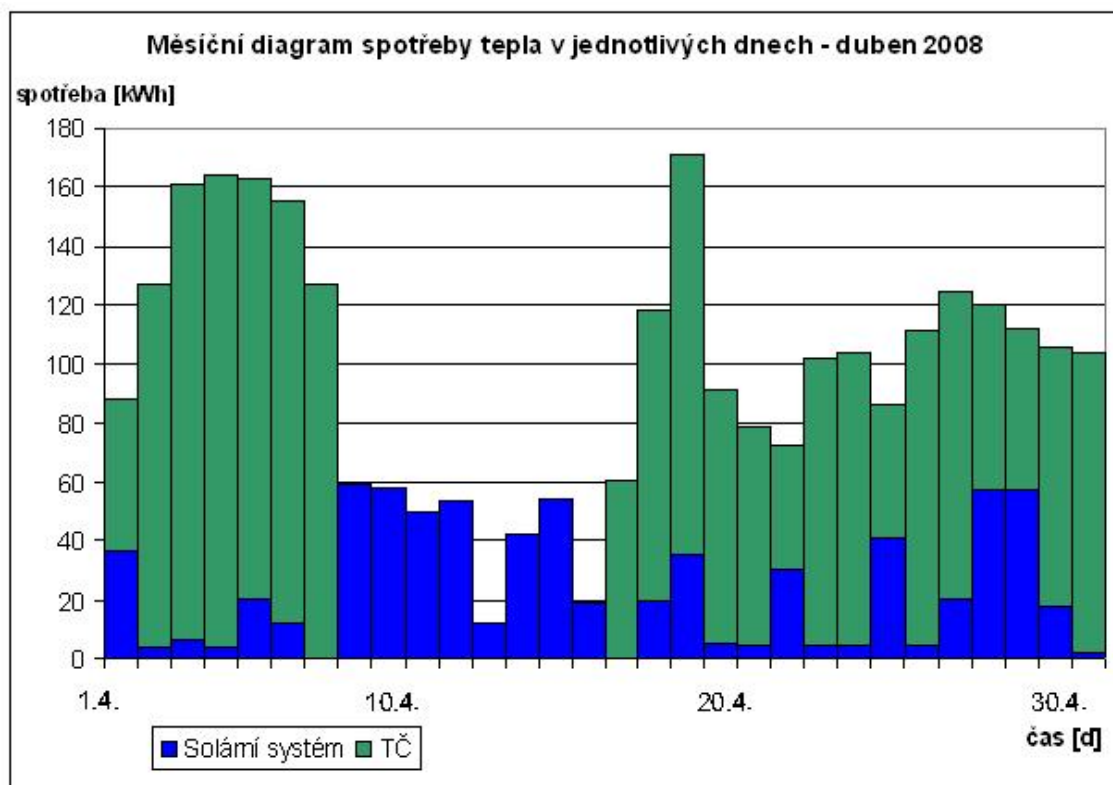
Obr. 6.9 Měsíční diagram spotřeby tepla v jednotlivých dnech – březen 2008



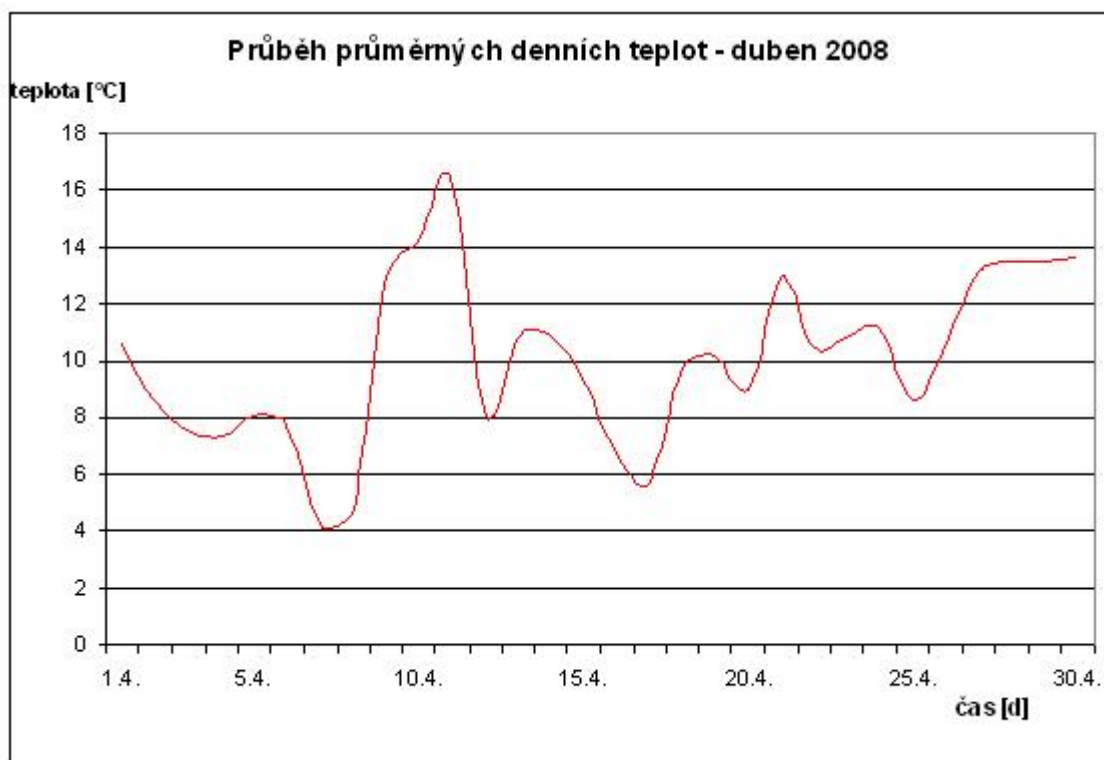
Obr. 6.10 Průběh průměrných denních teplot – březen 2008



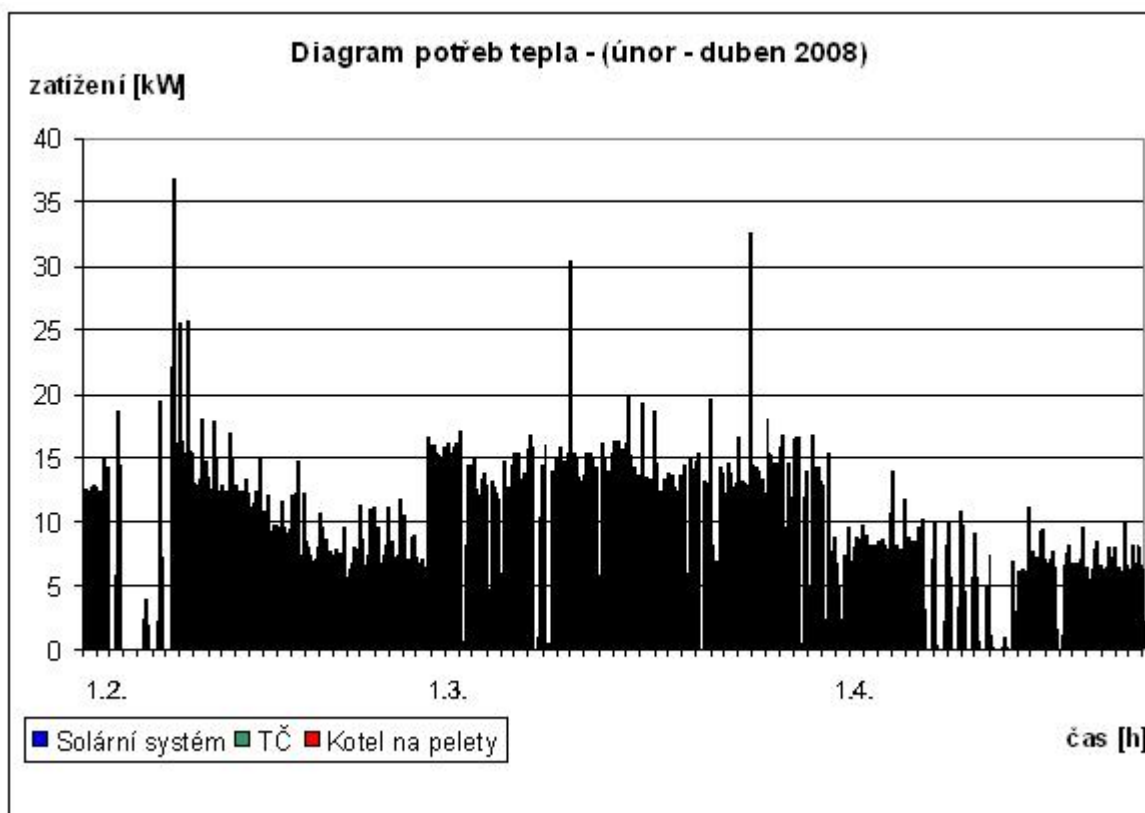
Obr. 6.11 Měsíční diagram potřeb tepla – duben 2008



Obr. 6.12 Měsíční diagram spotřeby tepla v jednotlivých dnech – duben 2008

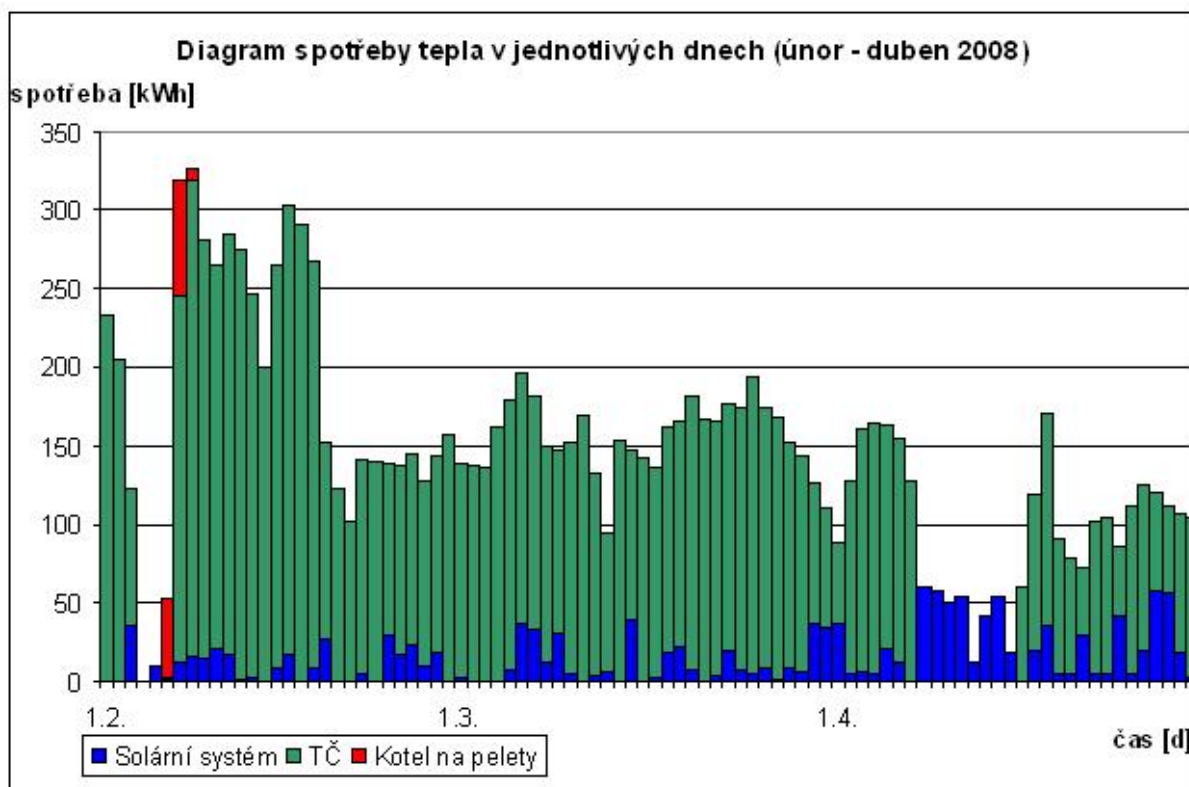


Obr. 6.13 Průběh průměrných denních teplot – duben 2008

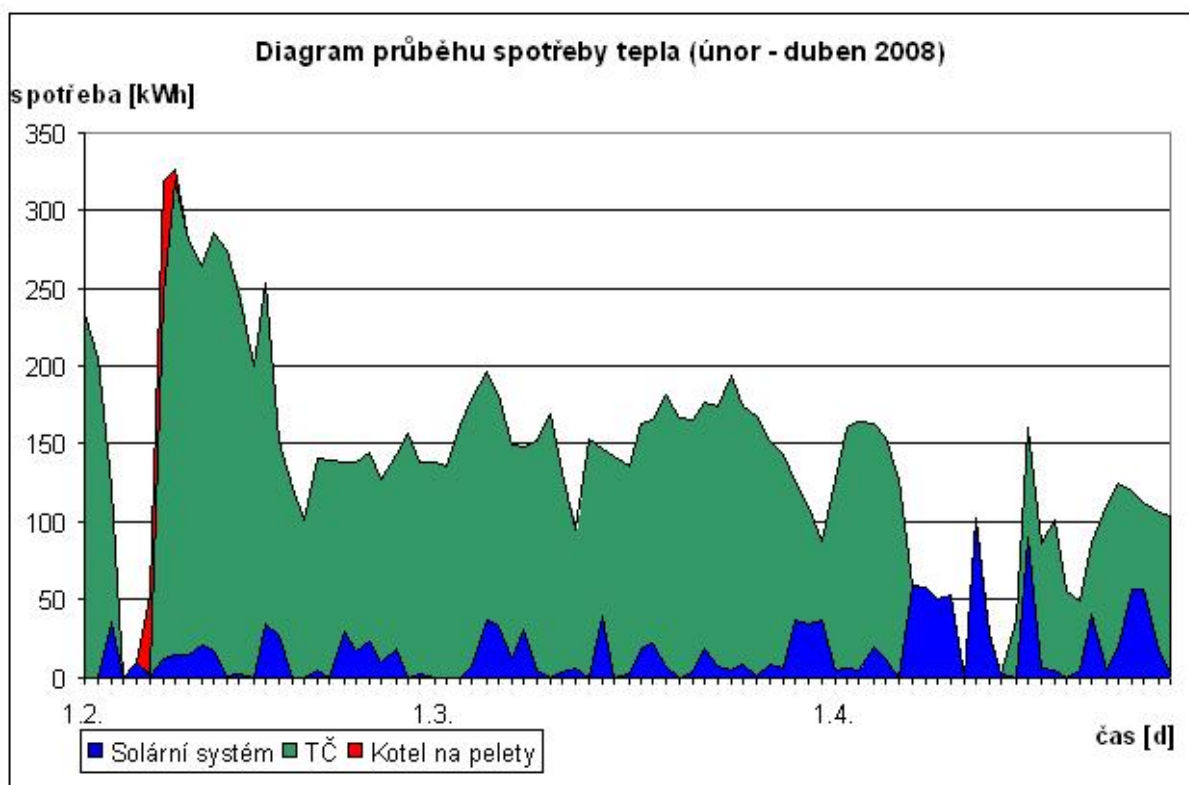


Obr. 6.14 Diagram potřeb tepla – (únor – duben 2008)



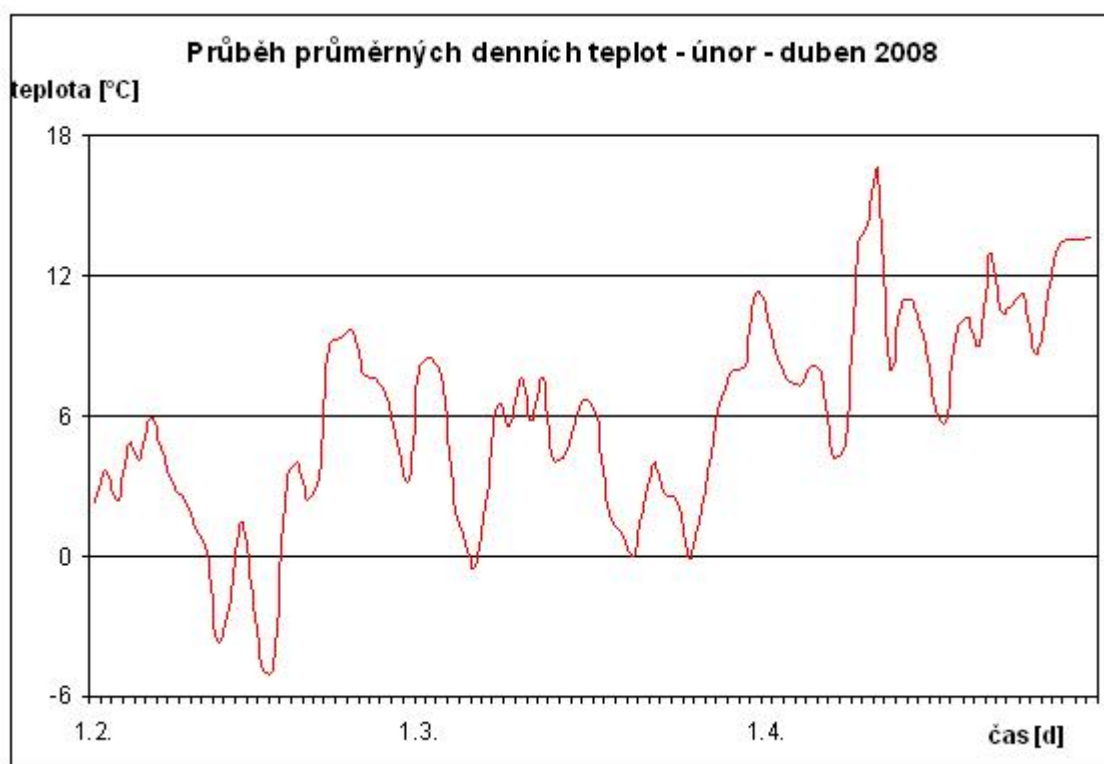


Obr. 6.15 Diagram spotřeby tepla v jednotlivých dnech (únor - duben 2008)



Obr. 6.16 Diagram průběhu spotřeby tepla (únor – duben 2008)





Obr. 6.17 Průběh průměrných denních teplot (únor – duben 2008)

## 7. Ekonomická bilance

Ekonomická bilance je platná pro měřené období 1.2.2008 až 30.4.2008

1 Ws = 1 J

1 Wh = 3600 J

1 kWh = 3,6 MJ

	AKUMULOVANÁ ENERGIE		
	[kWh]	[MJ]	[GJ]
Solární kolektory	1.385,78	4.988,8	4,99
TČ	11.674,83	42.029,39	42,03
Kotel na pelety	132,2	475,92	0,48
CELKEM	13.192,81	47.494,11	47,5

Tab. 7.1 Hodnoty akumulované energie

	SPOTŘEBOVANÁ ENERGIE		
	[kWh]	[MJ]	[GJ]
Elektroměr	7.704,7	27.736,92	27,74
Kotel na pelety	146,76	528,21	0,53
CELKEM	7.851,46	28.265,13	28,27

Tab. 7.2 Hodnoty spotřebované energie

Hodnota elektroměru udává celkovou spotřebu elektrické energie celé kotelny, včetně světel a oběhových čerpadel za měřené období.

Spotřebu peletového kotle jsem zjistil následovně:

Z aktuálních výkonů v době, kdy byl kotel v provozu jsem zjistil průměrný výkon kotle (viz. [5]). Ten je 17,2 kW.

Tomuto výkonu podle výrobce odpovídá účinnost 90,1 %.

Teplo vyrobené kotlem je 475,92 MJ

Teplo, které je potřeba dodat ve formě pelet je

$$\frac{475,92}{0,901} = 528,21 \text{ MJ}$$

## 7.1 Náklady na výrobu tepla z jednotlivých zdrojů

### 7.1.1 Kotel na pelety

Jak už jsem spočítal výše, je množství tepla dodaného v peletách 528,21 MJ.

Výhřevnost pelet 18 MJ / kg

$$\text{Množství spálených pelet} \quad \frac{528,21}{18} = 29,35 \text{ kg}$$

Cena pelet 3,434 Kč / kg

Cena za teplo  $29,35 \cdot 3,434 = 100,79 \text{ Kč}$

$$\text{Cena tepla za 1 GJ} \quad \frac{100,79}{0,48} = 209,98 \text{ Kč / GJ}$$

### 7.1.2 Tepelné čerpadlo a solární kolektory

V tomto případě musím počítat náklady na výrobu tepla z obou zdrojů současně s ohledem na to, že měření spotřeby elektrické energie není oddělené.

Dodavatelem elektrické energie je firma E.ON. Tarif Standart Power Direct se sazbou C56d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu pro vytápění s tepelným čerpadlem a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin denně.

Ceny pro výpočet celkové platby za elektřinu:

Nízký tarif 2,34092 Kč / kWh

Platba za jistič 3x40A 1590 Kč / měsíc

Spotřeba elektřiny 7 704,7 kWh

energie z tepelného čerpadla + energie ze soláru = množství naakumulované energie

$$11.674,83 + 1.385,78 = 13.060,61 \text{ kWh} = 47,02 \text{ GJ}$$

Cena za elektřinu v nízkém tarifu za měřené období

$$7.704,7 \cdot 2,34092 = 18.036,09 \text{ Kč}$$

Pravidelné platby za jistič za měřené období

$$3 \cdot 1.590 \text{ Kč} = 4.770 \text{ Kč}$$

Celková platba za elektřinu za měřené období

$$18.036,09 + 4.770 = 22.806,09 \text{ Kč}$$

Cena tepla za 1 GJ

$$\frac{22.806,09}{47,02} = 485,03 \text{ Kč} / \text{GJ}$$

7.2 Náklady na výrobu tepla ze všech tří zdrojů

Celkové náklady

$$22.806,09 + 100,79 = 22.906,88 \text{ Kč}$$

Cena tepla za 1 GJ

$$\frac{22.906,88}{47,5} = 482,25 \text{ Kč} / \text{GJ}$$

7.3 Porovnání s jinými zdroji

7.3.1 Zemní plyn

Podklady pro výpočet jsem čerpal z webových stránek firmy RWE a z [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz).

Cena zemního plynu 0,98589 Kč / kWh

Cena za přistavenou kapacitu 289,34 Kč / měsíc

Účinnost kotle 98 % (Ferroli Econcept 35A)

Potřebné množství energie dodané v plynu

$$\frac{13.192,81}{0,98} = 13.462,05 \text{ kWh}$$

Cena za dodaný zemní plyn

$$13.462,05 \cdot 0,98589 = 13.272,05 \text{ Kč}$$

Cena za přistavenou kapacitu

$$3 \cdot 289,34 = 868,02 \text{ Kč}$$

Platba za jistič 3 x 25 A

$$3 \cdot 528 = 1.584 \text{ Kč}$$

Platbu za jistič jsem zde započítal pro objektivnější porovnání jednotlivých zdrojů tepla. I pokud je zdrojem tepla zemní plyn, tak v okruhu potřebujeme oběhová čerpadla a samotný kotel má také malou spotřebu elektrické energie.

Celková platba za sledované období

$$13.272,05 + 868,02 + 1.584 = 15.724,07 \text{ Kč}$$

Cena tepla za 1 GJ

$$\frac{15.724,07}{47,5} = 331,03 \text{ Kč / GJ}$$

### 7.3.2 Elektřina

Pro výpočet nákladů na výrobu tepla z elektrické energie jsem zvolil tarif Standard Power Aku od firmy E.ON se sazbou C26d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 8 hodin denně. Tato sazba je určena pro odběrná místa, ve kterých se významná část spotřeby elektřiny využívá pro akumulční vytápění nebo akumulční ohřev vody.

Ceny pro výpočet celkové platby za elektřinu:

Nízký tarif	1,86135 Kč / kWh
Platba za jistič 3x50A	1.690 Kč / měsíc

Potřebné množství dodané elektrické energie – spotřeba elektřiny

$$\frac{13.192,81}{0,99} = 13.326,07 \text{ kWh}$$

Cena za elektřinu v nízkém tarifu za měřené období

$$13.326,07 \cdot 1,86135 = 24.804,48 \text{ Kč}$$

Pravidelné platby za jistič za měřené období

$$3 \cdot 1.690 \text{ Kč} = 5.070 \text{ Kč}$$

Celková platba za elektřinu za měřené období

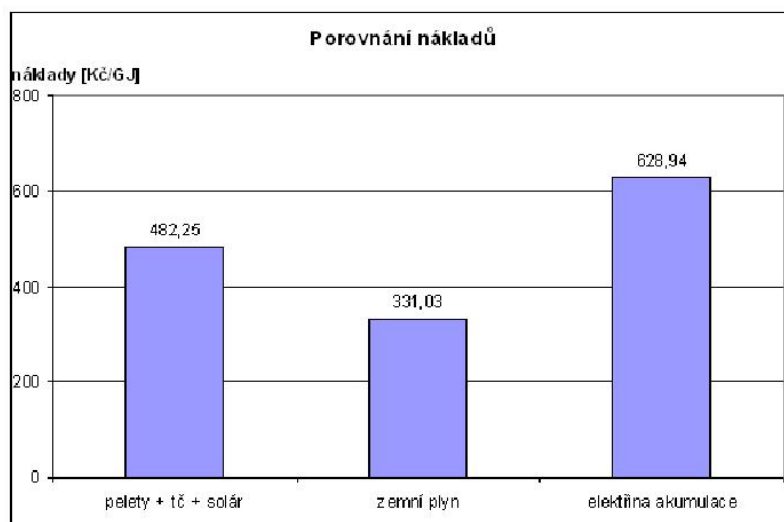
$$24.804,48 + 5.070 = 29.874,48 \text{ Kč}$$

Cena tepla za 1 GJ

$$\frac{29.874,48}{47,5} = 628,94 \text{ Kč / GJ}$$

	Současné provedení (pelety + tč + solár)	Zemní plyn	Elektřina akumulace
Celkové náklady [Kč]	22.906,88	15.724,07	29.874,48
Cena za 1 GJ [Kč/GJ]	482,25	331,03	628,94
	100 %	67,6 %	130,4 %

Tab. 7.3 Tabulka porovnání nákladů na výrobu tepla z jednotlivých druhů paliv



Obr. 7.1 Porovnání nákladů

To, že je cena tepla vyrobeného tepelným čerpadlem vyšší než z kotle na zemní plyn je způsobeno neodděleným měřením spotřeby elektrické energie pro kotelnu a pro zbytek budovy. Také je potřeba upozornit, že v nákladech na výrobu tepla ze zemního plynu a elektrickou akumulací není počítáno se spotřebou elektřiny pro oběhová čerpadla a také s pořizovacími náklady na jednotlivé zdroje.

#### 7.4 Přepočet nákladů na teplo z tepelného čerpadla

Z průměrných denních teplot vzduchu naměřených v meteorologické stanici Brno – Žabovřesky vychází průměrná teplota za sledované období 5,9 °C. Podle [6] se pro tuto teplotu pohybuje topný faktor okolo hodnoty 3,1.

Dle (1.5) mohu spočítat množství elektrické energie, kterou spotřebovalo samotné tepelné čerpadlo.

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_T} = \frac{11.674,83}{3,1} = 3.766,07 \text{ kWh} = 13.557,87 \text{ GJ}$$

Cena za elektřinu v nízkém tarifu za měřené období

$$3.766,07 \cdot 2,34092 = 8.816,07 \text{ Kč}$$

Pravidelné platby za jistič za měřené období

$$3 \cdot 1.590 \text{ Kč} = 4.770 \text{ Kč}$$

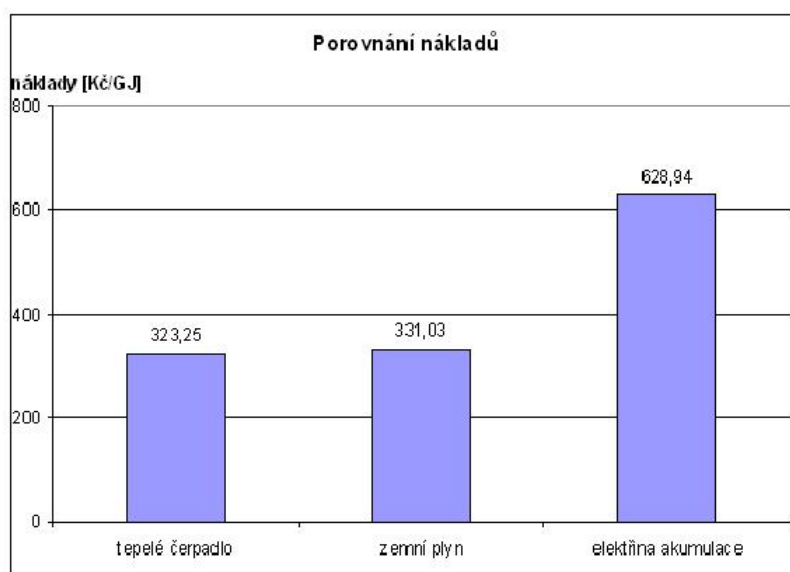
Celková platba za elektřinu za měřené období

$$8.816,07 + 4.770 = 13.586,07 \text{ Kč}$$

Cena tepla za 1 GJ

$$\frac{13.586,07}{42,03} = 323,25 \text{ Kč / GJ}$$





Obr. 7.2 Porovnání nákladů po přepočtu

I po přepočtu vychází cena tepla z tepelného čerpadla relativně vysoká vzhledem k tomu, že jsem do této ceny nezahrnul pořizovací náklady. Je to z toho důvodu, že sledovaným obdobím byly tři poměrně chladné měsíce. Až bude tepelné čerpadlo dodávat teplo i v teplejších měsících, bude se výsledná cena tepla snižovat.

Každopádně, toto je pouze moje úvaha a skutečnou cenu tepla je potřeba spočítat až budou k dispozici veškeré hodnoty za celý rok (po nainstalování všech elektroměrů).

## 8. Závěr

Cílem diplomové práce byla optimalizace použití jednotlivých zdrojů v trivalentním systému vytápění v administrativní budově, která je koncipována jako nízkoenergetický objekt.

V období únor až duben 2008 byla formou měření vybraných veličin vyhodnocována stávající situace v budově s cílem prověřit, zda je nastavení používání jednotlivých zdrojů tepla optimální. S ohledem na krátkou dobu měření a absenci elektroměrů na měření spotřeby a příkonu kompresoru jsou naměřená data sice vypovídající, ale z grafů a z měření vyplývají následující poznatky:

- způsob měření venkovní teploty je nevhodný s ohledem na umístění teploměru, který je umístěn na jižní stěně budovy a měření je tak významně ovlivněno slunečním zářením
- dle průběhu měřených veličin lze předpokládat, že denní a noční režim vytápění budovy je nastaven totožně, což s ohledem na účel využití budovy není hospodárné
- teplotní spád topného okruhu je v budově nastaven na hodnoty 55/45°C, dle doporučení výrobce tepelného čerpadla má být 50/40°C, zde je třeba prověřit, zda je možno teplotní spád změnit na doporučenou hodnotu výrobce s ohledem na parametry topné soustavy (tj. zda je topná soustava je dostatečně naddimenzovaná). V stávajícím nastavení tepelné čerpadlo pravděpodobně nepracuje optimálně, vyšší teplotní spád může mít vliv na efektivnost provozu tepelného čerpadla.
- s ohledem na skutečnost, že trivalentní systém vytápění v budově je instalován především z důvodů podpory propagace obnovitelných zdrojů, nebyly brány významně na zřetel náklady pořízení a instalaci zdrojů vytápění.
- ve výpočtech porovnání jednotlivých typů vytápění nebyly zohledněny náklady na pořízení s instalací zdrojů formou odpisů, zahrnutí této položky by při porovnání situaci trivalentního systému ještě zhoršilo s ohledem na vysoké pořizovací náklady jednotlivých zdrojů.
- ze zdrojů na internetu lze občas vyčíst srovnání nákladů pro různé zdroje vytápění, tato srovnání ale není možné použít, protože jsou kalkulována pro domácnosti a nikoli pro podnikatelské objekty z důvodů rozdílných cen za elektrickou energii a zemní plyn

S ohledem na výše uvedené skutečnosti vyplývá, že systém trivalentního vytápění nebude z ekonomických důvodů v praxi pravděpodobně využíván. Systémy používající dva zdroje vytápění, kde jedním z nich je buď tepelné čerpadlo, nebo solární kolektory, však využívány jsou. Jejich užití s ohledem na riziko vyčerpání klasických zdrojů energie a stále se zvyšující cenu těchto zdrojů bude do budoucna stále nabývat na významu.

## 9. Seznam použitých zdrojů:

- [1] Cihelka, J.:Solární tepelná technika, Nakladatelství Malina Praha 1994
- [2] Srdečný, K., Truxa, J.:Tepelná čerpadla, Era group spol.s.r.o. 2005
- [3] Klobušník, L.:Pelety: palivo budoucnosti, Sdružení Harmonie 2004
- [4] Pavelek, M. a kolektiv:Termomechanika, Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství
- [5] <http://hsksolar.aspweb.cz/Data/ActDataAll.aspx>
- [6] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) – Jak je to vlastně s topným faktorem (II), ing. Luděk Klazar, 29.3.2005
- [7] Krbek, J., Ochraňa, L., Polesný, B.:Průmyslová energetika, Fakulta strojní VUT v Brně, Technická 2 1996
- [8] Kolektiv autorů:Topenářská příručka – 120 let topenářství v Čechách a na Moravě, Gas s.r.o., Praha 2001
- [9] Kolektiv: Vytápění – sborník z konference Vytápění – Třeboň 2005, Společnost pro techniku prostředí, Novotného lávka 5, Praha 1, 2005
- [10] Kolektiv: Konference Vytápění Třeboň 2007, Společnost pro techniku prostředí, Novotného lávka 5, Praha 1, 2007
- [11] Projektová dokumentace vytápění administrativního a skladového objektu Enbra
- [12] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [13] [www.ponast.cz](http://www.ponast.cz)
- [14] [www.separaeko.cz](http://www.separaeko.cz)
- [15] [www.mastertherm.cz](http://www.mastertherm.cz)
- [16] [www.chmu.cz](http://www.chmu.cz)
- [17] [www.thermosolar.sk](http://www.thermosolar.sk)
- [18] [www.solarnisystemy.com](http://www.solarnisystemy.com)
- [19] [www.elektrorevue.cz](http://www.elektrorevue.cz)
- [20] [www.enbra.cz](http://www.enbra.cz)
- [21] [www.ekosolaris.cz](http://www.ekosolaris.cz)
- [22] [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz)
- [23] [www.gloria.cz](http://www.gloria.cz)
- [24] [www.i-ekis.cz](http://www.i-ekis.cz)
- [25] [www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz)
- [26] [www.eon.cz](http://www.eon.cz)
- [27] [www.rwe-jmp.cz](http://www.rwe-jmp.cz)
- [28] [www.klimad.sk](http://www.klimad.sk)
- [29] [www.energetika.cz](http://www.energetika.cz)
- [30] [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz)

## 10. Seznam použitých zkratk a symbolů

TČ	- tepelné čerpadlo
HDO	- hromadné dálkové ovládání
COP	- Coefficient of Performance (topný faktor)
ČR	- Česká republika
NPT	- nízkopotenciální teplo
NPZ	- nízkopotenciální zdroj
MaR	- měření a regulace
TUV	- teplá užitková voda

Značka	Jednotka	Význam
$\eta_t$	[-]	termická účinnost
$\eta$	[-]	optická účinnost
$\varepsilon_T$	[-]	topný faktor
$n$	[-]	počet
$T$	[K]	teplota
$T_H$	[K]	výstupní teplota
$T_C$	[K]	vstupní teplota
$T_\infty$	[K]	teplota okolí
$S$	[m <sup>2</sup> ]	plocha
$p$	[Pa]	tlak
$Q$	[W]	tepelný výkon
$E$	[W]	elektrický příkon
$v$	[m <sup>3</sup> /kg]	měrný objem
$R$	[W/m <sup>2</sup> ]	sluneční konstanta
$Q_0$	[kWh]	teplo odebrané při nižší teplotní hladině
$Q_k$	[kWh]	energie dodaná akumulací nádrží
$E_d$	[kWh]	elektrická energie dodaná tepelnému čerpadlu
$a_o$	[J · kg <sup>-1</sup> ]	práce cyklu
$s$	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	entropie
$q_H$	[J · kg <sup>-1</sup> ]	odvedené teplo
$q_C$	[J · kg <sup>-1</sup> ]	přivedené teplo



## 11. Seznam příloh

Příloha č. 1. – Vytápění – schéma zapojení kotelny